



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS
MEDIDAS A TRAVÉS DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA),
SOBRE LA BIOTA MEDIDA A TRAVÉS DEL ÍNDICE BIÓTICO BMWP EN LA
MICROCUEENCA DEL RÍO CONTRERAS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**

Silvia Alejandra Méndez Spiegel

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Estrada Asturias

Guatemala, septiembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS
MEDIDAS A TRAVÉS DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA),
SOBRE LA BIOTA MEDIDA A TRAVÉS DEL ÍNDICE BIÓTICO BMWP EN LA
MICROCUEENCA DEL RÍO CONTRERAS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SILVIA ALEJANDRA MÉNDEZ SPIEGELER
ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO ESTRADA ASTURIAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL I | Ing. Angel Roberto Sic García |
| VOCAL II | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Narda Lucía Pacay Barrientos |
| VOCAL V | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| EXAMINADORA | Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña |
| EXAMINADOR | Ing. Jaime Domingo Carranza González |
| EXAMINADORA | Inga. María Alejandra Ma Villatoro |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS
MEDIDAS A TRAVÉS DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA),
SOBRE LA BIOTA MEDIDA A TRAVÉS DEL ÍNDICE BIÓTICO BMWP EN LA
MICROCUEENCA DEL RÍO CONTRERAS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 5 de agosto de 2014.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Silvia Alejandra', enclosed within a circular scribble.

Silvia Alejandra Mendez Spiegel

Guatemala, 23 de abril de 2015

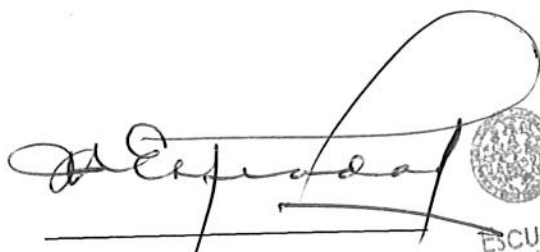
Ing. Víctor Manuel Monzón Valdéz
Director de Escuela de Ingeniería Química
Presente

Ingeniero Monzón:

Por este medio hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación de la estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental **Silvia Alejandra Méndez Spiegeler**, quien se identifica con el carnet número **2010-20389**, el cual tiene como título "Determinación de la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), sobre la biota medida a través del índice biótico BMWP en la microcuenca del río Contreras del municipio de Guatemala".

Al respecto, le informo que el trabajo cumple con los requisitos establecidos en el perfil de egreso de la carrera de Ingeniería Ambiental que se administra en nuestra escuela, por lo que no tengo objeción alguna sobre el contenido de fondo del trabajo y por tanto puede procederse a su aprobación para los trámites posteriores.

Atentamente,



Jorge Mario Estrada Asturias
Ingeniero Químico. Colegiado No. 685
Asesor

Jorge Mario Estrada Asturias
Ingeniero Químico Col. 685
Profesor Titular
Escuela de Ing. Química USAC



Guatemala, 18 de agosto de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.051.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **024-2014** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Silvia Alejandra Méndez Spiegeler**.
Identificada con número de carné: **2010-20389**.
Previo a optar al título de **INGENIERA AMBIENTAL**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS
MEDIDAS A TRAVÉS DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA), SOBRE
LA BIOTA MEDIDA A TRAVÉS DEL ÍNDICE BIÓTICO BMWP EN LA MICROCUENCA DEL RÍO
CONTRERAS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Mario Estrada Asturias**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. César Ariel Villeta Rodas
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.137.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la carrera de **Ingeniería Ambiental** del estudiante, **SILVIA ALEJANDRA MÉNDEZ SPIEGELER** titulado: **"DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS MEDIDAS A TRAVÉS DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA), SOBRE LA BIOTA MEDIDA A TRAVÉS DEL ÍNDICE BIÓTICO BMWP EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CONTRERAS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, septiembre 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale



Asociación Centroamericana de Asociaciones de
Ingenieros de Arquitectura y de Ingeniería



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS MEDIDAS A TRAVÉS DEL ÍNDICE SIMPLIFICADO DE CALIDAD DEL AGUA (ISQA), SOBRE LA BIOTA MEDIDA A TRAVÉS DEL ÍNDICE BIÓTICO BMWF EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CONTRERAS DEL MUNICIPIO DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Sylvia Alejandra Méndez Spiegel**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DECANO



Guatemala, septiembre de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

| | |
|--------------------|---|
| Dios | Por darme fuerza, sabiduría y amor para llegar hasta este punto de mi vida. |
| Mis padres | Eduardo Méndez y Silvia Spiegeler de Méndez, por ser ejemplos para mí, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida. |
| Mi hermano | Mario Méndez Spiegeler, por su apoyo y cariño a lo largo de mi vida. |
| Mis abuelos | Máximo Spiegeler (q. e. p. d.) y Aura García de Spiegeler (q. e. p. d.), por ser ángeles que me protegen y me guían desde el cielo. Fausto Méndez y Zoila Sosa de Méndez, por su amor, paciencia y apoyo. |
| Mi sobrina | Ana Paula Mendez, por llenar de alegría mi vida. |
| Mi familia | Por estar siempre presentes en mi vida, por el cariño, la alegría y el apoyo que me han brindado siempre. |

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---|--|
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por ser mi alma máter, fuente de conocimientos para empezar mi vida profesional. |
| Facultad de Ingeniería | Por brindarme todas las herramientas para formarme como profesional. |
| Mis padres | Por formarme como persona, darme la oportunidad de seguir mis sueños y alcanzar mis metas. Por ser mis maestros de vida. |
| Mi hermano | Por ser un profesional ejemplar, darme siempre ánimos y haberme ayudado desde pequeña. |
| Mis amigos | En especial a Diana Mendoza, Alan Rodríguez y Javier Zepeda, por darme su sincera amistad, acompañarme a lo largo de la carrera, darme ánimos y fuerzas para continuar. Por ser mis compañeros de batalla. |
| Ing. Jorge Mario Estrada Asturias | Por compartir sus conocimientos y apoyarme en la realización de esta investigación. |

**Municipalidad de
Guatemala, Dirección
de Medio Ambiente**

Especialmente a la Inga. Beatriz Ramírez, por darme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto, por su acompañamiento y entusiasmo a lo largo de esta investigación.

Licda. Norma Gil

Por su contribución en la parte experimental de esta investigación, lo cual lo hizo posible.

**Laboratorio Unificado de
Química y Microbiología
Sanitaria**

Por permitirme utilizar sus instalaciones para la parte experimental de esta investigación.

Mi familia y amigos

Porque cada uno tuvo una influencia positiva en mi vida, cada uno compartió y vivió conmigo alguna de las etapas de mi carrera, y me han dado su sincero cariño y amistad.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | IX |
| GLOSARIO | XI |
| RESUMEN..... | XVII |
| OBJETIVOS..... | XIX |
| Hipótesis | XX |
| INTRODUCCIÓN | XXI |
| | |
| 1. MARCO CONCEPTUAL..... | 1 |
| 1.1. Antecedentes..... | 1 |
| 1.1.1. Delimitación | 4 |
| | |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 7 |
| 2.1. Conceptos básicos | 7 |
| 2.1.1. El recurso hídrico | 7 |
| 2.1.2. Cuenca y sistema fluvial | 8 |
| 2.1.2.1. División espacial de una cuenca hidrográfica | 9 |
| 2.1.2.2. Subcuenca..... | 9 |
| 2.1.2.3. Microcuenca | 9 |
| 2.1.3. Componentes de un río | 10 |
| 2.1.4. Contaminación y sus causas | 11 |
| 2.2. Monitoreo y bioindicación | 12 |
| 2.2.1. Monitoreo..... | 13 |
| 2.2.2. Tipo de monitoreo | 13 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.2.3. | Macroinvertebrados acuáticos..... | 14 |
| 2.2.3.1. | Tipos de vida de los macroinvertebrados acuáticos..... | 14 |
| 2.2.4. | Bioindicación | 15 |
| 2.3. | Índices de calidad del agua..... | 16 |
| 2.3.1. | Índices biológicos de calidad del agua | 17 |
| 2.3.1.1. | Índice saprobio | 17 |
| 2.3.1.2. | Índices bióticos..... | 18 |
| 2.3.2. | Índices fisicoquímicos de calidad del agua..... | 20 |
| 2.3.2.1. | Índice de calidad general (ICG)..... | 22 |
| 2.3.2.2. | Índice simplificado de calidad de aguas (ISQA)..... | 22 |
| 2.3.2.3. | Índice automático de calidad de aguas (IAQA)..... | 22 |
| 2.3.2.4. | Índices de Contaminación ICO..... | 23 |
| 2.4. | Índice biótico BMWP | 23 |
| 2.4.1. | Clasificación de macroinvertebrados y su calificación para el uso del índice BMWP..... | 24 |
| 2.4.2. | Cálculo del índice BMWP | 26 |
| 2.5. | Índice simplificado de calidad del agua (ISQA) | 27 |
| 2.5.1. | Componentes y parámetros a evaluar del índice | 27 |
| 2.5.2. | Cálculo del valor del índice ISQA | 29 |
| 2.6. | Caracterización de la microcuenca del río Contreras..... | 31 |
| 2.6.1. | Aspectos socioeconómicos | 32 |
| 2.6.1.1. | Demografía..... | 32 |
| 2.6.1.2. | Educación..... | 35 |
| 2.6.1.3. | Organización social | 37 |
| 2.6.1.4. | Infraestructura y vivienda | 38 |
| 2.6.1.5. | Salud y sanidad pública | 40 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.6.2. | Aspectos biofísicos | 40 |
| 2.6.2.1. | Cinturón Ecológico Metropolitano | 41 |
| 2.6.2.2. | Serie de suelos | 42 |
| 2.6.2.3. | Zonas de vida | 44 |
| 2.6.2.4. | Geología | 45 |
| 3. | METODOLOGÍA..... | 47 |
| 3.1. | Variables..... | 47 |
| 3.2. | Recursos materiales disponibles | 49 |
| 3.3. | Metodología a utilizar para el muestreo de macroinvertebrados acuáticos..... | 52 |
| 3.3.1. | Planificación..... | 52 |
| 3.3.2. | Preparación de materiales y equipo necesario | 52 |
| 3.3.3. | Muestreo con red D | 53 |
| 3.3.3.1. | Descripción de la red D | 53 |
| 3.4. | Procedimiento de muestreo..... | 53 |
| 3.5. | Análisis de muestras de macroinvertebrados en laboratorio ... | 55 |
| 4. | RESULTADOS..... | 57 |
| 4.1. | Muestra de cálculo para la determinación del índice fisicoquímico ISQA | 57 |
| 4.1.1. | Cálculo de sólidos suspendidos totales (SST) en miligramos por litros..... | 57 |
| 4.1.2. | Cálculo del valor del parámetro E de temperatura en la ecuación del ISQA | 58 |
| 4.1.3. | Cálculo del valor del parámetro A de demanda química orgánica (DQO) en la ecuación del ISQA.. | 59 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.1.4. | Cálculo del valor del parámetro B de sólidos en suspensión totales (SST) en la ecuación del ISQA..... | 60 |
| 4.1.5. | Cálculo valor del parámetro C de oxígeno disuelto (OD) en la ecuación del índice ISQA | 60 |
| 4.1.6. | Cálculo valor del parámetro D de conductividad en la ecuación del ISQA..... | 61 |
| 4.1.7. | Cálculo del índice fisicoquímico ISQA..... | 62 |
| 4.2. | Muestra de cálculo para la determinación del índice biótico BMWP | 63 |
| 4.3. | Análisis estadístico de los datos | 64 |
| 4.4. | Tablas resumen de datos calculados | 65 |
| 4.4.1. | Tablas resumen para ISQA..... | 66 |
| 4.4.2. | Tablas resumen para índice biótico BMWP..... | 67 |
| 4.5. | Correlación entre índice simplificado de calidad del agua (ISQA) e índice biótico BMWP | 68 |
| 4.6. | Determinación del tipo de correlación entre índice simplificado de calidad del agua (ISQA) e índice biótico BMWP | 69 |
| 4.7. | Tablas resumen de las variables evaluadas para cada índice utilizado | 72 |
| 4.8. | Mapas | 73 |
| 5. | INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 79 |
| | CONCLUSIONES..... | 87 |
| | RECOMENDACIONES | 89 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 91 |
| | APÉNDICES..... | 95 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Mapa de zonificación de la microcuenca..... | 5 |
| 2. | Mapa de red de muestreo | 6 |
| 3. | Mapa de densidad poblacional..... | 33 |
| 4. | Mapa de centros poblados | 34 |
| 5. | Mapa de concentración de la población | 35 |
| 6. | Escolaridad en la ciudad de Guatemala..... | 36 |
| 7. | Mapa de calidad de vivienda..... | 38 |
| 8. | Mapa de red vial..... | 39 |
| 9. | Mapa de Cinturón Ecológico | 42 |
| 10. | Mapa de serie de suelos | 43 |
| 11. | Mapa de zonas de vida | 44 |
| 12. | Mapa de geología | 45 |
| 13. | Descripción red D..... | 53 |
| 14. | Gráfica de correlación entre BMWP e ISQA para época seca | 68 |
| 15. | Gráfica de correlación entre BMWP e ISQA para época lluviosa..... | 69 |
| 16. | Gráfica de correlación polinómica entre BMWP e ISQA para época seca..... | 70 |
| 17. | Gráfica de correlación polinómica entre BMWP e índice ISQA para época lluviosa | 71 |
| 18. | ISQA para época seca | 74 |
| 19. | ISQA para época lluviosa..... | 75 |
| 20. | Índice BMWP para época seca | 76 |
| 21. | Índice BMWP para época lluviosa..... | 77 |

TABLAS

| | | |
|--------|--|----|
| I. | Calidad del cuerpo de agua según ponderación..... | 21 |
| II. | Calificación de los macroinvertebrados según sensibilidad | 24 |
| III. | Calificación BMWP según familias de macroinvertebrados | 25 |
| IV. | Clasificación de la calidad del agua según índice BMWP..... | 27 |
| V. | Clasificación de la calidad del agua según el ISQA..... | 29 |
| VI. | Nivel de escolaridad de población mayor de 7 años de edad..... | 37 |
| VII. | Datos originales SST en muestra 1, Parque Ecológico Cayalá | 57 |
| VIII. | Datos originales de temperatura en muestra 1, Parque Ecológico Cayalá..... | 58 |
| IX. | Datos originales DQO en muestra 1, Parque Ecológico Cayalá | 59 |
| X. | Datos calculados de SST en muestra 1, Parque Ecológico Cayalá..... | 60 |
| XI. | Datos originales de OD en muestra 1, Parque Ecológico Cayalá | 61 |
| XII. | Datos originales de conductividad en muestra 1, Parque Ecológico Cayalá..... | 61 |
| XIII. | Datos calculados de los parámetros a utilizar en muestra 1, Parque Ecológico Cayalá | 62 |
| XIV. | Macroinvertebrados encontrados en el primer muestreo de época seca, en el Parque Ecológico Cayalá | 63 |
| XV. | Conjunto de resultados del índice ISQA para el Parque Ecológico Cayalá en época seca | 65 |
| XVI. | Resultados para el ISQA durante época seca | 66 |
| XVII. | Resultados para el ISQA durante época lluviosa..... | 66 |
| XVIII. | Resultados para el índice BMWP durante época seca | 67 |
| XIX. | Resultados para el BMWP durante época lluviosa | 67 |
| XX. | Correlación entre BMWP e ISQA época seca | 68 |
| XXI. | Correlación entre BMWP e ISQA época lluviosa | 69 |
| XXII. | Correlación entre BMWP e ISQA época seca | 70 |

| | | |
|--------|--|----|
| XXIII. | Correlación entre BMWP e ISQA época lluviosa | 71 |
| XXIV. | Resumen de las variables evaluadas para época seca | 72 |
| XXV. | Resumen de las variables evaluadas para época lluviosa | 73 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-------------------|---|
| DQO | Demanda química de oxígeno |
| °c | Grados centígrados |
| bmwp | Índice biótico (<i>biological monitoring working party</i>) |
| isqa | Índice simplificado de calidad del agua |
| µs/cm | Microsiemens por centímetro |
| mg/l | Miligramo por litro |
| N/A | No aplica para el estudio realizado |
| OD | Oxígeno disuelto |
| SST | Sólidos en suspensión totales |
| T | Temperatura |
| \overline{Cond} | Valor promedio de conductividad |
| \overline{DQO} | Valor promedio de demanda química de oxígeno |
| \overline{OD} | Valor promedio de oxígeno disuelto |
| \overline{Temp} | Valor promedio de temperatura |
| \overline{BMWP} | Valor promedio del índice biótico (<i>Biological Monitoring Working Party</i>). |
| \overline{ISQA} | Valor promedio del índice simplificado de calidad del agua. |

GLOSARIO

| | |
|----------------------------|---|
| Afluente | Cualquier cuerpo de agua cuya desembocadura no se produce en el mar sino que el un río superior o de mayor importancia. |
| Agua residual cruda | Son aguas residuales que no han recibido tratamiento alguno. Aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso. |
| Bioindicador | Los indicadores biológicos son aquellos organismos que ayudan a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual o pasado relacionado con el estudio de un ambiente |
| Biota | Conjunto de especies de animales, plantas y otros organismos que ocupan un área dada. |
| BMWP | <i>Biological monitoring working party</i> . Índice biológico que da puntuación a 131 familias de macroinvertebrados que son utilizados como indicadores. Se calcula mediante la sumatoria de las familias identificadas. |
| Cauce | Es el lugar concreto por el que transcurre. |

| | |
|-----------------------|---|
| Correlación | Indica la correspondencia o la relación recíproca que se da entre dos o más cosas. En estadística, indica la fuerza y la dirección lineal que se establece entre dos variables. |
| Ecosistema | Comunidad de seres vivos en un área determinada, cuyos procesos vitales están relacionados entre sí. |
| Epicontinental | Zona marina próxima a la costa, situada sobre la plataforma marina. |
| Eutrofización | Proceso natural en ecosistemas acuáticos, caracterizado por un aumento en la concentración de nutrientes (fosfatos y nitratos), con los consiguientes cambios en la composición de la comunidad de seres vivos. |
| GPS | Sistema de posicionamiento global. Sistema global de navegación por satélite que permite determinar con gran precisión la posición de un objeto en cualquier parte de la geografía mundial. |
| Hábitat | Es el lugar en el cual se cumplen las condiciones más importantes para que una especie de seres vivos puedan vivir allí. Es el lugar que ocupa una población. |

| | |
|--------------------------|--|
| Índice biótico | Porcentaje o calificación para la clasificación de los caudales de agua dulce, según el tipo de comunidad de invertebrados presente en el agua. |
| ISQA | Índice simplificado de calidad del agua. Proporciona una idea rápida e intuitiva de la calidad del agua. Se obtiene a partir de una ecuación que relaciona 5 parámetros fisicoquímicos. |
| Larva | Animal en estado de desarrollo, cuando ha abandonado las cubiertas del huevo y es capaz de nutrirse por sí mismo, pero aún no ha adquirido la forma y la organización propia de los adultos de su especie. |
| Macrófito | Plantas que se ven a simple vista. |
| Macroinvertebrado | Son bichos que se pueden ver a simple vista. Miden entre 2 milímetros y 30 centímetros. |
| Microcuenca | Terreno delimitado por las partes altas de una montaña, donde se concentra el agua de lluvia para desplazarse por un cauce y desembocar en una quebrada, río o lago. |
| Monitoreo | Consiste en la observación del curso de uno o más parámetros para detectar anomalías o cambios en el entorno. |

| | |
|----------------------------|--|
| Neotropical | Perteneciente al reino floral que incluye los países tropicales y subtropicales de América. |
| Organismo bentónico | Aquellos que viven en el fondo de los cuerpos acuáticos y realizan sus funciones vitales en dependencia estricta de un substrato. |
| Parámetro | Dato o valor numérico que se considera para el estudio o análisis de una situación. |
| Pupa | Fase de desarrollo de un insecto, en este caso, un macroinvertebrado, posterior al estado de larva y anterior al de adulto. |
| Saprobio | Organismos que viven en medios ricos en sustancias orgánicas en descomposición. |
| Shape | <i>Shapefile</i> es un formato de representación vectorial desarrollado por ESRI (Environmental Systems Research Institute). Consta de un número variable de archivos, en los que se almacena digitalmente la localización de los elementos geográficos junto con sus atributos o características. |
| Submuestra | Una parte más pequeña de la muestra original, creado por la recolección diferenciada de la muestra original. |

Taxón

Es un grupo de organismos emparentados, que en una clasificación dada han sido agrupados, asignándole al grupo un nombre en latín, una descripción y un tipo.

RESUMEN

Este estudio se llevó a cabo en la microcuenca del río Contreras, en la subcuenca del río Negro, en el municipio de Guatemala. Tuvo por objeto determinar la influencia de las características fisicoquímicas medidas a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), sobre la biota medida a través del índice biótico BMWP.

Se seleccionaron únicamente tres puntos de muestreo representativos de la parte baja, media y alta de la microcuenca, realizando dos muestreos anuales: el primero en época seca (período marzo-mayo) y el segundo en época lluviosa (período agosto-octubre).

Al obtener las puntuaciones de cada índice mencionado, se procedió a establecer una correlación mediante el uso de ecuaciones y herramientas estadísticas, como gráficos, para el análisis de regresión de la información obtenida.

Se observó que, tanto durante la época seca como en la época lluviosa, el índice biótico BMWP obtuvo puntuaciones muy bajas, clasificando la calidad del agua como “muy crítica”. Por otro lado, el este índice obtuvo mejores puntuaciones. Durante época seca, las puntuaciones del índice ISQA registraron una mala calidad del agua en la parte alta y media de la microcuenca, mientras la parte baja obtuvo una calidad regular. Se observó una mejoría de la calidad del agua durante época lluviosa, ya que los tres puntos muestreados alcanzaron valores del índice ISQA que los clasifica como de calidad regular.

Luego de obtener los valores de los índices ISQA y BMWP, se determinó que el tipo de correlación observado entre ambos índices fue de tipo polinómico de segundo grado, no de tipo lineal, como se había planteado originalmente.

Al obtener la correlación y las puntuaciones de ambos índices, se procedió a utilizar herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) para la elaboración de mapas, que sirvieron como representación gráfica de la calidad del agua en cada zona de la microcuenca.

OBJETIVOS

General

Determinar la influencia que las características fisicoquímicas, medidas a través del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), tienen sobre la biota, medida a través del índice biótico BMWP, en la microcuenca del río Contreras.

Específicos

1. Determinar el índice simplificado de calidad del agua (ISQA).
2. Determinar el índice biótico BMWP (*biological monitoring working party*).
3. Establecer el tipo de correlación entre ambos índices.
4. Elaborar mapas de zonificación de la calidad del agua de la microcuenca del río Contreras mediante un código de colores internacionalmente aceptado para ambos índices.

Hipótesis

Hipótesis de trabajo:

Existe influencia de las características fisicoquímicas y de la biota de macroinvertebrados en la población y biodiversidad en la microcuenca del río Contreras.

Hipótesis estadísticas:

- Nula: existe una correlación directamente proporcional entre el índice simplificado de calidad del agua y el índice simplificado de BMWP.
- Alternativa: existe una correlación inversamente proporcional entre el índice simplificado de calidad del agua y el índice simplificado de BMWP.

INTRODUCCIÓN

La microcuenca del río Contreras está ubicada en la zona 15 y zona 16 de la ciudad de Guatemala, forma parte del Cinturón Ecológico Metropolitano y es un afluente del río Negro, que luego se une al río Las Vacas. La microcuenca del río Contreras abarca el área del Parque Ecológico Cayalá, ubicado en la zona 16, calzada La Paz. Este río enriquecía el paisaje y atracción del parque, fomentando el ecoturismo dentro de la ciudad.

En un corto período, menor a 10 años, la calidad y estado de esta microcuenca ha ido decreciendo. El Parque Ecológico Cayalá era conocido por el río Contreras y la presencia de diversidad de animales y aves que lo visitaban, siendo modelo de las características ambientales de los barrancos de la ciudad que aún sobreviven. Actualmente el río tiene mal olor y existe señalización que indica la presencia de aguas contaminadas. El deterioro de la microcuenca ha tenido efectos adversos en la biodiversidad del Parque y de quienes aprovechaban las aguas del río.

El río Contreras recibe directamente las descargas de aguas residuales crudas de las viviendas y comercios en la microcuenca, lo que significa que existen diversos focos de contaminación y sus aguas contienen una excesiva carga orgánica. Utilizando índices bióticos y fisicoquímicos para determinar la calidad del agua, es posible conocer su estado y tomar acciones de carácter correctivo para la protección de la microcuenca.

Es importante conocer y monitorear el estado de la microcuenca del río Contreras, debido a que contribuye y promueve el ecoturismo dentro de la ciudad y era el hábitat de diversas especies de mamíferos, insectos y aves.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

El análisis de la calidad del agua superficial utilizando índices o métodos biológicos comenzó con Kolenati, Hassal y Cohn, quienes observaron que los organismos que viven en aguas contaminadas no son los mismos que viven en agua limpia. Desde entonces, han surgido diversos métodos para el análisis biológico de la calidad del agua. Los métodos que consideran a los macroinvertebrados bentónicos para determinar la calidad del agua tienen su origen en los que fueron desarrollados por Kolkwitz & Marsson, quienes propusieron el sistema saprobiótico continental, el cual sirvió de base para el desarrollo de nuevos índices como: *trent biotic index* (TBI), *biological monitoring working party* (BMWP), *belgium biotic index* (BBI). Chutter desarrolló un índice para los ríos de Sudáfrica, el cual fue modificado por Hilsenhoff para utilizarlo en ríos de Norteamérica, llamado índice biótico de familias (IBF).

El índice biológico BMWP fue propuesto por Armitage. P. B, et al. (1983), en Gran Bretaña al amparo del National Water Council, con la finalidad de ser utilizado como una metodología para evaluar la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos. Alba-Tercedor & Jiménez-Millán (1987) realizaron una primera adaptación del sistema para la península ibérica. Como el índice solo permitía obtener unas puntuaciones para comparar situaciones de calidad pero no para evaluar o emitir un juicio acerca de la misma, Alba-Tercedor & Sánchez-Ortega (1988) correlacionaron los valores de BMWP con cinco grados de contaminación, asignándoles un significado a cada caso. La última

actualización del sistema se presenta en *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos*, Javier Alba-Tercedor, 1996.

Con base en estos trabajos y los estudios realizados en Colombia por Zamora H (1991 -2001), Roldán G. (1973-2003), Zúñiga de C, M. (1985-1994), Bohórquez, A., Acuña (1984) y otros investigadores, se presentó el artículo *El índice BMWP y la evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia*, el cual es una revisión y actualización de la adaptación del sistema BMWP realizada para Colombia por Zamora, H. (1999).

A pesar de la importancia de los macroinvertebrados bénticos para determinar la calidad del agua, la gran mayoría de trabajos en bioindicadores acuáticos se han enfocado en sistemas en regiones templadas. Sin embargo, BMWP-CR y BMWP-Col fueron creados como una adaptación del índice BMWP para su aplicación en Costa Rica y Colombia, respectivamente. Estos han sido de los pocos índices biológicos que han sido adecuados a los cuerpos de agua de las regiones neotropicales. Su aplicación ha sido ampliamente estudiada y trabajada en Costa Rica por MINAE, en 2007, y en Colombia por Roldán, en 2003.

En 2007, por medio del Decreto núm. 33903-MINAE-S, Costa Rica publica el *Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales*, donde se establece la metodología a utilizar para el índice adaptado para Costa Rica, BMWP-CR.

Sermeño Chicas, J. M., de El Salvador, evaluó y elaboró en 2010, la guía llamada *Metodología estandarizada de muestreo multi-hábitat de macroinvertebrados acuáticos mediante el uso de la red D en ríos de El*

Salvador. Además, elaboró, junto a diversos expertos en el tema, varias guías y claves taxonómicas según orden y familia de los especímenes encontrados en El Salvador.

En Guatemala, estos estudios son bastante recientes y no existe aún una metodología especializada para el país, ni claves taxonómicas específicas de las regiones y hábitats de Guatemala.

En 2011, Palencia, J., realizó el informe *Evaluación del uso de macroinvertebrados bentónicos como indicadores biológicos de la calidad de agua en dos microcuencas del lago de Atitlán, departamento de Sololá*.

En el año 2013, la Comisión Guatemalteca de Normas (Coguanor) publicó la norma técnica guatemalteca NTG/ISO 8689-1 y NTG/ISO 8689-2, *Calidad del agua. Clasificación biológica de los ríos*, donde especifica una metodología y presentación de resultados para el muestreo y análisis de calidad del agua mediante índices bióticos.

Acuña, E. en 2013 elaboró el estudio titulado *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. Este informe, al igual que el de Sermeño Chicas utiliza la metodología de la red tipo D, y se basa en las claves y órdenes taxonómicos encontrados en las cuencas de El Salvador.

1.1.1. Delimitación

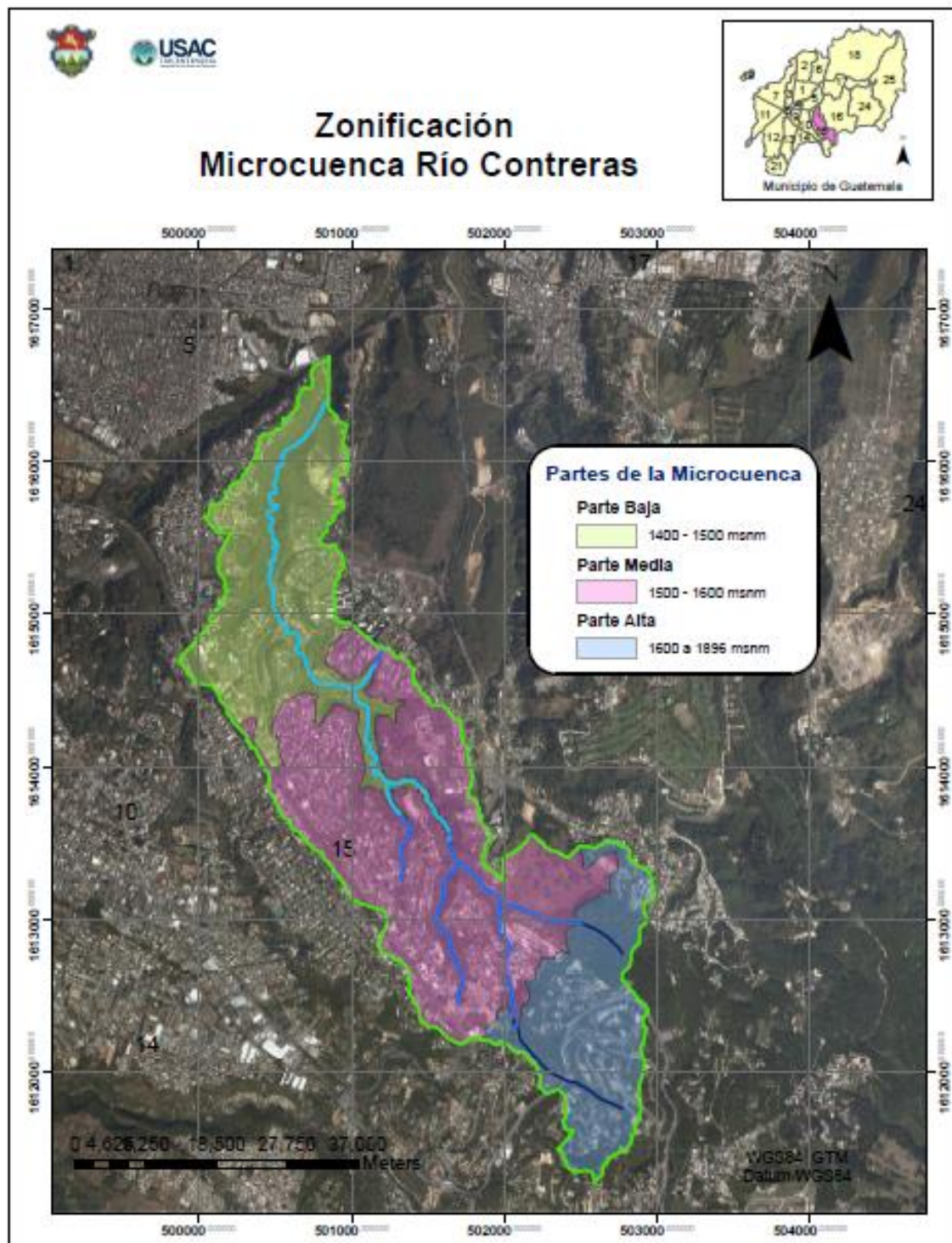
Este estudio abarca el monitoreo y análisis de la calidad del agua mediante el índice biológico BMWP y el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) de la microcuenca del río Contreras, ubicada dentro del municipio de Guatemala, en las zonas 15 y 16 de la ciudad, abarcando un área de 5 504 517 km².

Se utilizarán únicamente tres puntos de muestreo, debidamente identificados y representativos de la parte alta, media y baja de la microcuenca:

- Parte baja: Parque Ecológico Cayalá (coordenadas UTM: 770123 E y 1617730 N) ubicado en el kilómetro 2,5 carretera a Santa Rosita zona 16. El acceso se encuentra sobre la calzada La Paz, bajando por la zona 5 hacia el boulevard Austriaco.
- Parte Media: colonia Ciudad Vieja II, zona 16 (coordenadas UTM: 771272 E y 1614353 N).
- Parte Alta: Colonia San Rafael I, km 9 carretera a El Salvador (coordenadas UTM: 77162 E y 161321 N).

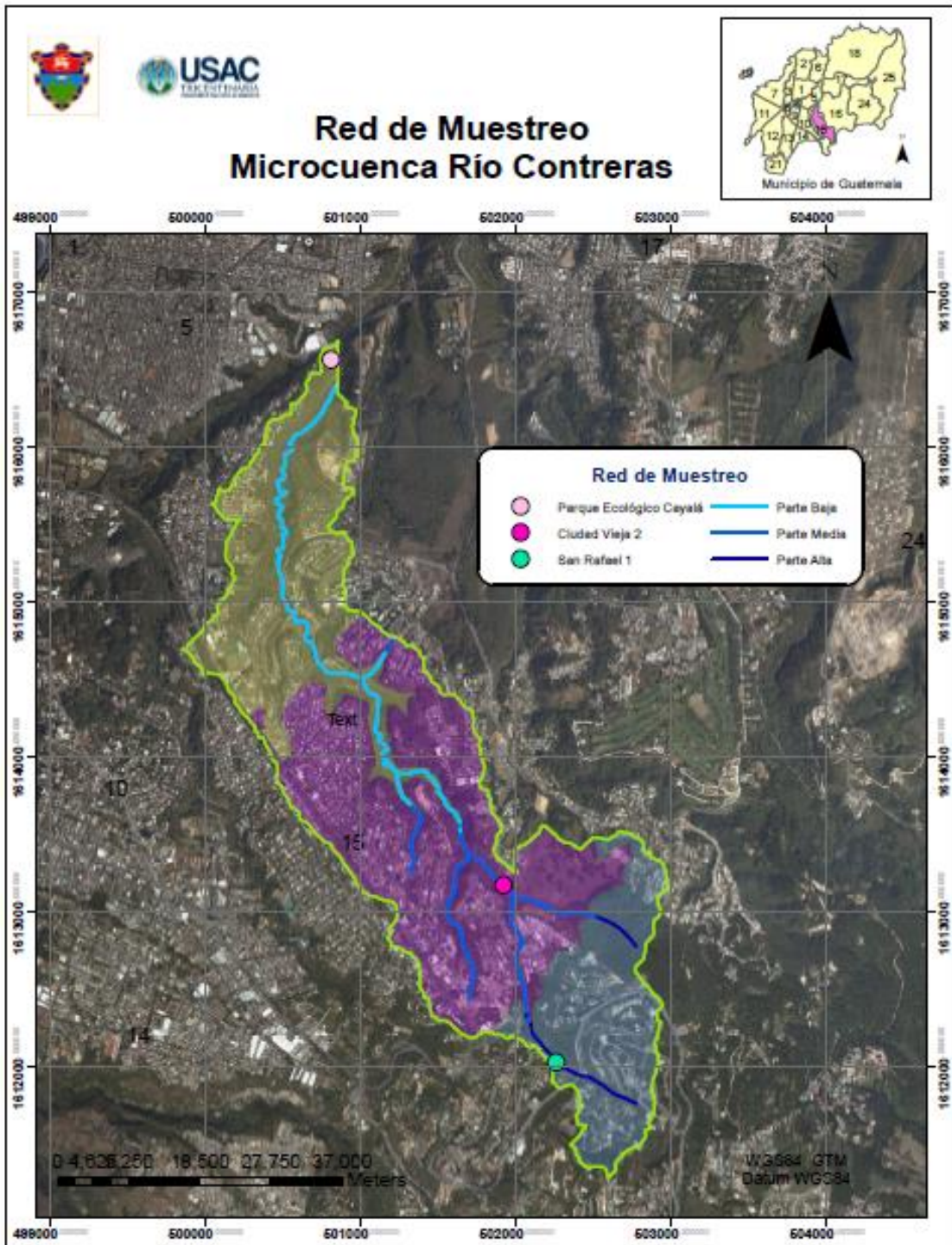
Se realizaron muestreos tanto en la época seca como en época lluviosa del 2014, para la obtención de mejores resultados y análisis de los efectos de las condiciones climáticas de ambas épocas.

Figura 1. Mapa de zonificación de la microcuenca



Fuente: Google Earth.

Figura 2. Mapa de red de muestreo



Fuente: Google Earth.

2. MARCO TEÓRICO

El agua es un recurso vital para la existencia de vida en el planeta, cuando es afectada por diversos factores físicos, químicos o biológicos, puede alterar su composición y estado natural, lo que repercute directamente en la calidad de vida de un ecosistema.

2.1. Conceptos básicos

Para comprender de mejor manera los conceptos de monitoreo y bioindicación del agua, es necesario hacer énfasis en los conceptos de recurso hídrico y contaminación.

2.1.1. El recurso hídrico

El agua es el componente más abundante de la tierra, ya que cubre dos terceras partes del planeta, es decir, un 70 %. A pesar de eso, de toda el agua existente en la naturaleza, únicamente un pequeño porcentaje (alrededor de 1 %) es de agua dulce y el resto es agua salada.

La mayor cantidad de agua dulce se encuentra en los ríos, pero, actualmente, el agua dulce es cada vez un recurso más escaso. Además, la distribución del agua en el planeta es desigual. Existen zonas donde el agua es abundante, por lo que la vida lo es también, y zonas desérticas donde ocurre lo contrario.

La cantidad de agua existente en el planeta es constante, el agua no se crea ni se destruye, sino se transforma. Esto quiere decir que el agua se encuentra en diferentes fases en el planeta, está siempre en movimiento. Esto es conocido como el ciclo del agua: el agua se evapora por la acción del calor, por los rayos del sol, se eleva en la atmósfera hasta formar nubes y vuelve a caer a la tierra en forma de precipitación. Al caer, el agua se infiltra en el suelo, forma ríos y corrientes subterráneas, circula y vuelve a llenar ríos, lagos, lagunas, entre otros luego se evapora de nuevo y continúa el ciclo.

En zonas donde no existe cobertura vegetal, como en las ciudades y urbanizaciones, la lluvia no es captada por el suelo y el agua es incapaz de penetrar las capas impermeables de concreto o asfalto, por lo que el agua circula superficialmente, produciendo crecidas e inundaciones. Esta corriente que se desliza superficialmente hasta un cauce, es conocida como escorrentía y representa un grave peligro para el suelo y las poblaciones.

2.1.2. Cuenca y sistema fluvial

Los ríos y riachuelos nacen en pozas subterráneas donde se acumula el agua de lluvia y salen a la superficie en forma de manantial. Estos riachuelos se unen a otros ríos, formando una red. Esta red es conocida como sistema fluvial. El sistema fluvial es la red de ríos que va desde la cabecera hasta la desembocadura.

Los ríos están rodeados de vegetación. El área de tierra junto al sistema fluvial y que se beneficia directamente de sus aguas, se llama cuenca. Esta se delimita por una línea divisoria imaginaria que une los puntos más altos que rodean al sistema fluvial, llamada parteaguas.

Una cuenca hidrográfica es toda el área de terreno que contribuye al flujo de agua en un río. Es decir, es el área de captación o terreno de donde provienen las aguas de un río, lago, embalse, entre otros.

2.1.2.1. División espacial de una cuenca hidrográfica

Para el ordenamiento y manejo de una cuenca, es necesario dividirla en unidades más pequeñas. Estas unidades son las subcuencas, las microcuencas y las quebradas. Además, dentro de cualquiera de estas divisiones, se establece una división identificándose tres partes de la cuenca:

- Parte baja: según el rango de alturas en el que se encuentra una cuenca, es la parte más baja.
- Parte media: rango de alturas medio.
- Parte alta: rango más alto de alturas en una cuenca.

2.1.2.2. Subcuenca

Es toda área en la que su drenaje va directamente al río principal de la cuenca. Es una subdivisión de la cuenca.

2.1.2.3. Microcuenca

Es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca. Una subcuenca está dividida en varias microcuencas.

Las microcuencas son unidades pequeñas donde se originan quebradas y riachuelos que drenan de las laderas y pendientes altas. Constituyen las unidades adecuadas para el manejo y planificación de sus recursos.

Las microcuencas se inician en la naciente de los pequeños cursos de agua, uniéndose a las otras corrientes hasta constituirse en la cuenca hidrográfica de un río de gran tamaño.¹

2.1.3. Componentes de un río

Antes de poder conocer los daños o corregir los efectos negativos en un río, es necesario conocer su naturaleza, componentes y áreas que lo rodean.

Áreas relacionadas con el río:

- Cuenca cercana: zona que se extiende aproximadamente 400 metros alrededor de la vegetación que crece a la orilla del río. Es el área que afecta de manera directa la calidad del agua.
- Zona inundable: área de tierra que rodea a un río y que se convierte en pantano cuando hay inundaciones. Es una zona muy fértil, pero es peligrosa para la edificación y cimentación de viviendas.
- Orilla/ribera del río: es la franja de vegetación que crece justo al borde de un río. Cumple con una función de filtro para evitar que los contaminantes y sustancias arrastradas por la escorrentía se mezclen con el agua del río. Ayuda a regular la temperatura del agua.

¹ UMAÑA GOMEZ, E. *Educación ambiental con enfoque en manejo de cuencas y prevención de desastres*. p. 6.

- Bancos del río: paredes laterales que mantienen el flujo en su curso. Su función es evitar las inundaciones, siempre y cuando el agua no las erosione o las rebase.
- Cobertura lateral: es la capa de vegetación que protege y da sombra a los seres que habitan el agua. Regulan la temperatura de la misma.
- Pozas: lugares del río en donde la circulación del agua es lenta y hay mayor profundidad.
- Rápidos: secciones del río poco profundo, donde el movimiento del río es más rápido debido a que choca con rocas. El flujo es turbulento.
- Corrientes: sectores del río donde el agua corre sin turbulencia.
- Sustrato: material que se deposita en el fondo del río (arcilla, arena, piedra, entre otros).

2.1.4. Contaminación y sus causas

La contaminación se refiere a cualquier alteración nociva del estado natural de un medio, en este caso el agua, debido a la introducción directa o indirecta de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas, así como energía calórica, entre otras.

La alteración del medio hídrico ha sucedido por diversas causas, algunas de ellas son:

- Actividades como la producción agrícola y ganadera, debido al uso excesivo de productos químicos como fertilizantes, pesticidas, plaguicidas, u otros, que contienen diversas sustancias tóxicas (nitritos, fosfatos, entre otros), las cuales contribuyen a la eutrofización de los cuerpos superficiales de agua.
- Destrucción de las cuencas debido a la deforestación y construcción de viviendas y edificaciones, disminuyendo el área permeable del suelo y aumentando la escorrentía.
- Descargas urbanas cuyo contenido incluye desechos domésticos, industriales, comerciales, hospitalarios, entre otros, las cuales contienen diversas sustancias peligrosas, metales, carga orgánica y otros.
- Explotación petrolera, actividades mineras, madereras, construcción de represas, hidroeléctricas, canales de riego, entre otros.

Todas estas actividades afectan los ecosistemas, provocan cambios en las poblaciones de seres vivos, enfermedades en los humanos, daños irreparables a la naturaleza, entre otros.

2.2. Monitoreo y bioindicación

La gestión y administración adecuada de los recursos hídricos obliga a conocer su comportamiento y respuesta ante las diferentes intervenciones antrópicas, siendo necesaria la implementación de métodos rápidos y económicos para el diagnóstico de las características de las fuentes de agua (GÓMEZ et al. 2007).

2.2.1. Monitoreo

El monitoreo de un río consiste en determinar los cambios ocurridos en el agua, la biota y la tierra que lo rodea. Es un procedimiento basado en la observación y estudio del ecosistema, con el fin de descubrir los daños causados al río y establecer el tratamiento necesario para restaurarlo.

Como cualquier estudio, es necesario tomar varios datos en diferentes puntos del mismo río, para conocer y comparar la calidad del agua río arriba y río abajo.

2.2.2. Tipo de monitoreo

La mayoría de los parámetros utilizados para la evaluación de la calidad del agua son de carácter fisicoquímico, especialmente la composición química. El seguimiento y vigilancia se lleva a cabo por medio de la recolección periódica de muestras y su posterior análisis.

Actualmente existen dos tipos de monitoreo de calidad del agua:

- Monitoreo por bioindicación: para este tipo de análisis se utilizan bioindicadores, que son organismos puntuales y selectos de estrés ambiental que pueden evaluar y predecir los efectos de las modificaciones ambientales.
- Monitoreo por parámetros fisicoquímicos: para este tipo de análisis se utilizan muestras del agua superficial del río, que son transportadas para su posterior análisis en el laboratorio, donde se evalúan diversos

parámetros fisicoquímicos, como: DQO, DBO, temperatura, dureza, turbiedad, conductividad, OD, pH, sólidos en suspensión, entre otros.

2.2.3. Macroinvertebrados acuáticos

Son bichos que pueden ser vistos a simple vista, ya que miden de 2 mm hasta 30 cm. Entre ellos se incluyen animales como esponjas, planarias, sanguijuelas, oligoquetos, moluscos o crustáceos, entre otros.

Estos animales proporcionan excelentes señales sobre la calidad del agua, ya que no solo revelan las condiciones ambientales actuales, sino que actúan como reveladores de las condiciones en el tiempo.

Como cualquier ser vivo, los macroinvertebrados necesitan de ciertas condiciones acuáticas para poder vivir, algunos de ellos requieren agua de buena calidad, mientras que otros resisten, crecen y abundan cuando existe contaminación.

2.2.3.1. Tipos de vida de los macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos habitan tanto en aguas lólicas como aguas lénticas. El hábitat es el lugar específico en que vive un organismo y a cada uno de ellos le corresponde una comunidad determinada.

Los macroinvertebrados acuáticos reciben un nombre distinto según el tipo de adaptación que presenten:

- Neuston: organismos que viven sobre la superficie del agua caminando, patinando o brincando. Sus uñas, patas y exoesqueleto son impermeables, y aprovechan la superficie del agua, venciendo la tensión superficial. Las familias representantes son: *Gerridea*, *Hydrometridae* y *Veliidae*, del orden *Hemiptera*.
- Necton: organismos que nadan libremente en el agua. Las familias representativas son: *Corixidae* y *Notonectidae* del orden *Hemiptera*; *Dytiscidae*, *Gyrinidae* e *Hydrophilidae* del orden *Coleoptera* y *Baetidae* del orden *Ephemeroptera*.
- Bentos: organismos que viven en el fondo, adheridos a piedras, rocas, troncos, restos de vegetación y otros sustratos. Los principales representantes son: *Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*, *Megaloptera*, *Diptera*, *Mollusca* y algunos *Hemiptera*.²

2.2.4. Bioindicación

En general, todo organismo es indicador de las condiciones del medio en que se desarrolla. Un indicador biológico acuático es aquel cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema en el cual habita.

Prat (1998) considera los macroinvertebrados, las macrófitas y las algas como indicadores puntuales de materia orgánica, eutrofización y acidificación. Estos métodos tienen la ventaja de ser simples y económicos, con el inconveniente de no tener un conocimiento amplio sobre taxonomía.

² ALVAREZ ARANGO, L. F. *Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. p. 5.

Características ideales de un bioindicador:

- Son abundantes, distribución amplia y fácil recolección
- Son fáciles de identificar
- Son sedentarios y reflejan las condiciones locales
- Ciclos de vida largos
- Se pueden ver a simple vista
- Responden rápidamente a los cambios en el ambiente

Se considera que los macroinvertebrados acuáticos son los de mayor popularidad como indicadores de calidad del agua.

2.3. Índices de calidad del agua

Los índices de calidad son herramientas que permiten asignar un valor de calidad al medio a partir del análisis de diferentes parámetros. Su combinación da una visión más precisa del estado ecológico de cualquier cuerpo de agua.

Características de los índices:

- Simplifican y resumen datos complejos.
- Se componen por una expresión numérica, por lo que pueden incluirse en modelos para la toma de decisiones.
- Son fáciles de comprender para el público y los usuarios.
- Deben ser tomados con precaución y actualizados periódicamente.

2.3.1. Índices biológicos de calidad del agua

Cada especie necesita de ciertas condiciones para sobrevivir, cuando estas características no son las óptimas, los organismos desaparecen o muestran efectos de las carencias. Esto permite asignarle a cada especie un valor de sensibilidad para el cálculo de los índices.

Características de los índices bióticos:

- Indican la calidad de un período más o menos extenso.
- Responden a episodios cortos pero recurrentes de contaminación.
- Organismos indicadores: son animales o vegetales que viven en un rango limitado de estado biológico en un cuerpo de agua.

Existen diversos tipos de índices bióticos:

- Indicadores basados en las algas diatomeas (índice IPS)
- Indicadores basados en los macroinvertebrados (índice BMWP)
- Indicadores basados en los peces (índice IBICAT).

2.3.1.1. Índice saprobio

“Saprobia” significa la dependencia de un organismo sobre las sustancias orgánicas descompuestas como fuente de alimento. Este índice es específicamente para estos organismos, como protozoos, bacterias, hongos y algas, que se desarrollan en presencia de carga orgánica.

El índice sapróbico se basa en la presencia de especies indicadoras que reciben un valor sapróbico dependiente de su tolerancia a la contaminación. Estos valores van de 0 a 8, en orden de menor a mayor tolerancia.

2.3.1.2. Índices bióticos

Estos índices clasifican el grado de contaminación de un ecosistema acuático mediante la tolerancia o sensibilidad de un organismo a un determinado contaminante.

El enfoque biótico incluye los aspectos esenciales de la saprobiedad y la diversidad, combinado con una medida cuantitativa de diversidad de especies y con la información cualitativa sobre la sensibilidad ecológica de taxones individuales en una expresión numérica simple.³

Los índices bióticos más utilizados:

- Índice BMWP: basado en la asignación de un punteo a las familias de macroinvertebrados acuáticos según su tolerancia a la contaminación. Estos valores van desde 1 a 10. La sumatoria de los valores obtenidos a partir del inventario de macroinvertebrados da como resultado el grado de contaminación de dicho punto.
- Índice biótico de Trent (TBI): se utiliza para indicar el grado de tensión producido por las aguas residuales, a partir de las cantidades de taxones y la presencia de especies o grupos clave.

³ ROLDÁN PÉREZ, G. *Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua*. p. 382.

- Índice Chandler: utiliza los mismos grupos que Trent pero también utiliza un factor de abundancia, en el que cada especie tiene una puntuación que varía según el número de individuos.⁴

Algunos de los índices bióticos tienen un enfoque de diversidad que utiliza tres componentes de la estructura de la comunidad; riqueza, uniformidad y abundancia, para describir la respuesta de una comunidad a la calidad ambiental bajo la presión de la contaminación. La diversidad de la comunidad se toma como una medida de la calidad del agua.

Los índices más conocidos de diversidad son:

- Índice de Shannon-Wiener (H): este refleja la igualdad, es decir, mientras más uniforme es la distribución entre las especies que componen la comunidad, mayor es el valor.
- Índice de Berger-Parker (B): mide la dominancia de una especie o taxón que sea la más abundante. Tiene valores entre 0 y 1.
- Índice de diversidad de Simpson-Gini (Y): expresa la probabilidad de que dos individuos extraídos al azar de una comunidad pertenezcan a la misma especie. Este índice toma valores desde 0 % a 100 %.
- Índice de diversidad de McIntosh: trabaja los tamaños de las poblaciones de los taxones, indicando la dominancia de los mismos.

⁴ ROS MORENO, A. *El Agua. Calidad y contaminación*. <http://www.mailxmail.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/indices-bioticos>. Consulta 4 de mayo de 2014.

2.3.2. Índices fisicoquímicos de calidad del agua

Se basan en la combinación de diferentes parámetros fisicoquímicos, con el fin de proporcionar una visión global de la calidad del agua.

Los parámetros más utilizados son los valores de nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, oxígeno disuelto, conductividad, pH, temperatura, DQO, DBO, entre otros.

Estos índices poseen un valor único, el cual se encuentra entre cero, que indica una muy mala calidad, hasta 100, que indica excelente calidad.

El propósito de los índices de calidad del agua (ICA) es simplificar en una expresión numérica las características positivas o negativas de una fuente de agua (National Sanitation Foundation – INSF, 1970).

El procedimiento para determinar cualquiera de estos índices sigue de manera general los siguientes pasos:

- Selección de variables fisicoquímicas a estudiar.
- Asignación de valores de calidad (0 a 1) a diferentes condiciones de las variables o establecimiento de una ecuación que relacione índice y variable.
- Asignación de coeficientes de ponderación (importancia).

De acuerdo al índice obtenido, la calidad de un cuerpo de agua queda definida como:

Tabla I. **Calidad del cuerpo de agua según ponderación**

| | |
|-----------|----------|
| Excelente | 91 – 100 |
| Buena | 71 – 90 |
| Regular | 51 – 70 |
| Mala | 26 – 50 |
| Pésima | 0 – 25 |

Fuente: Universidad del Cauca. *Los ICA y la Calidad de las aguas*. p. 1.

Se encuentran seleccionadas algunas variables que, por su papel ecológico, se consideran relevantes:

- Conductividad: refleja la mineralización de las aguas, dado que conjuga cationes de sodio, potasio, calcio, magnesio, así como los aniones de carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros.
- pH: expresa las principales correlaciones con componentes de mineralización como alcalinidad y, en menor forma, conductividad y sólidos disueltos.
- Sólidos suspendidos: la turbiedad es otra forma de expresión de esta variable. Sus valores son afectados por procesos erosivos y extractivos, y su efecto sobre los ecosistemas acuáticos es la reducción de la penetración lumínica, limitando los procesos naturales de fotosíntesis. Se relaciona con el amonio y la DBO.

- Oxígeno: está relacionado a condiciones como caudal, capacidad de reoxigenación o altitud. Define la presencia o ausencia potencial de todas las especies acuáticas.
- Fósforo total: está ligado a los ortofosfatos que lo conforman, define la eutrofización de los ecosistemas acuáticos.
- Coliformes totales: se correlacionan con los fecales.

2.3.2.1. Índice de calidad general (ICG)

Es un valor adimensional que se basa en 23 parámetros procesados mediante ecuaciones lineales, de los cuales se utilizan 9 básicos y los restantes 14 son complementarios, según su influencia en la calidad. Los 9 parámetros básicos son: coliformes totales, conductividad, DBO, DQO, fósforos totales, sólidos en suspensión, nitratos, oxígeno disuelto y pH.

2.3.2.2. Índice simplificado de calidad de aguas (ISQA)

Es un índice que proporciona, de manera rápida, la calidad del agua, se obtiene a partir de una ecuación que combina 5 parámetros fisicoquímicos: temperatura, DQO, sólidos totales en suspensión, oxígeno disuelto y conductividad. El ISQA tiene valores entre 0 (calidad mínima) y 100 (calidad máxima).

2.3.2.3. Índice automático de calidad de aguas (IAQA)

Es un variante del ISQA, con la variante de que utiliza COT (carbono orgánico total) en lugar de DQO, debido a que proporciona datos más exactos.

2.3.2.4. Índices de Contaminación ICO

- Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO): representa variables de contaminación como nitrógeno amoniacal, nitritos, fósforo, oxígeno, DBO5, DQO y coliformes fecales.
- Índice de contaminación por mineralización (ICOMI): expresado en numerosas variables, la conductividad como reflejo de los sólidos disueltos, dureza por los cationes calcio y magnesio y alcalinidad por los aniones.
- Índice de calidad por sólidos suspendidos (ICOSUS): determinado mediante la concentración de los sólidos suspendidos.
- Índice de contaminación trófico (ICOTRO): se determina por la concentración del fósforo total.

2.4. Índice biótico BMWP

En Gran Bretaña, al amparo del National Water Council, se ordenaron las familias de macroinvertebrados acuáticos en 10 grupos, siguiendo un gradiente de menor a mayor tolerancia a la contaminación. A cada familia se le asignó una puntuación entre 1 y 10, según su sensibilidad a la contaminación. A mayor sensibilidad, una puntuación mayor, y a menor sensibilidad, una menor puntuación.

Según dicha sensibilidad, se dividen los macroinvertebrados en cinco grupos:

Tabla II. **Calificación de los macroinvertebrados según sensibilidad**

| Sensibilidad | Calidad del agua | Calificación |
|---|------------------|--------------|
| No aceptan contaminantes | Muy buena | 9 – 10 |
| Aceptan muy pocos contaminantes | Buena | 7 – 8 |
| Aceptan pocos contaminantes | Regular | 5 – 6 |
| Aceptan mayor cantidad de contaminantes | Mala | 3 – 4 |
| Aceptan muchos contaminantes | Muy mala | 1 – 2 |

Fuente: CARRERA, C. y FIERRO, K. *Manual de monitoreo. Los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua.* p. 30.

El uso del índice BMWP requiere identificar los macroinvertebrados a nivel de familia, lo cual representa un ahorro de trabajo taxonómico y la posibilidad de ser utilizado por personal sin dicha experiencia. Los macroinvertebrados pueden ser identificados en el laboratorio de forma rápida, mediante el uso de claves de identificación.

2.4.1. Clasificación de macroinvertebrados y su calificación para el uso del índice BMWP

Para el cálculo del índice BMWP, se asigna una única vez el valor del puntaje por familia en cada punto muestreado del río de interés, sin tomar en cuenta la abundancia de dicha familia. De esta forma, el puntaje de cada familia

presente en cada punto de muestreo es sumado para obtener el valor final del índice.

En la siguiente tabla se observa una clasificación de los macroinvertebrados acuáticos por familias según su puntuación para la determinación del índice BMWP:

Tabla III. **Calificación BMWP según familias de macroinvertebrados**

| Familias | Puntajes |
|---|----------|
| <i>Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gripopterygidae, Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae, Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae</i> | 10 |
| <i>Coryphoridae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae, Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae</i> | 9 |
| <i>Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Naucoridae, Palaemonidae, Pseudothelpusidae, Trichodactylidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriidae</i> | 8 |
| <i>Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Crambidae, Dicteriadidae, Dixidae, Elmidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohyphidae, Lestidae, Ochteridae, Pyralidae</i> | 7 |
| <i>Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae, Dryopidae, Dugesiidae, Hyriidae, Hydrochidae, Limnichidae, Lutrochidae, Lymnaeidae, Megapodagrionidae, Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae</i> | 6 |
| <i>Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae, Gyrinidae, Libellulidae, Mesoveliidae, Nepidae, Notonectidae, Planorbidae, Simuliidae, Tabanidae, Thiaridae</i> | 5 |

Continuación de la tabla III.

| | |
|--|---|
| <i>Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephrydriidae, Glossiphoniidae, Haliplidae, Hydridae, Muscidae Scirtidae, Empididae, Dolichopodidae, Hydrometridae, Noteridae, Sciomyzidae</i> | 4 |
| <i>Chaoboridae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Stratiomyidae, Tipulidae.</i> | 3 |
| <i>Chironomidae (cuando no es la familia dominante), Isotomidae, Culicidae, Psychodidae, Syrphidae</i> | 2 |
| <i>Haplotaxida, Tubificidae</i> | 1 |

Fuente: ÁLVAREZ ARANGO, L. F. *Calificación BMWP según familias de macroinvertebrados*. p.8.

2.4.2. Cálculo del índice BMWP

Tras la identificación de los macroinvertebrados, se elabora una lista de inventario con las familias presentes en cada sitio muestreado. Se busca la puntuación de cada familia y se obtiene el valor del índice BMWP mediante la suma total de las puntuaciones de cada familia presente.

Es posible clasificar la calidad de un cuerpo de agua según su valor del índice BMWP. Los colores a utilizar para su representación cartográfica son los que se presentan en la tabla IV.

Tabla IV. **Clasificación de la calidad del agua según índice BMWP**

| Clase | Calidad | Valor | Significado | Color |
|-------|-------------|-----------|--|----------|
| I | Buena | 101 - 120 | Aguas muy limpias. No contaminadas ni alteradas. | Azul |
| II | Aceptable | 61 - 100 | Son evidentes algunos efectos de contaminación. | Verde |
| III | Dudosa | 36 - 60 | Aguas contaminadas | Amarillo |
| IV | Crítica | 16 - 35 | Aguas muy contaminadas. | Naranja |
| V | Muy Crítica | 0 - 15 | Aguas fuertemente contaminadas. | Rojo |

Fuente: ALBA-TERCEDOR, J. *Clasificación del agua según índice BMWP*. p. 9.

2.5. Índice simplificado de calidad del agua (ISQA)

Es un índice basado en 5 parámetros fisicoquímicos (temperatura, conductividad, sólidos en suspensión, DQO y oxígeno disuelto), que provee una forma sencilla y fácil de conocer el grado de contaminación y calidad del agua de un cuerpo hídrico.

2.5.1. Componentes y parámetros a evaluar del índice

- Temperatura: la temperatura afecta directamente sobre un ecosistema acuático, ya que a temperaturas más cálidas existe menor contenido de oxígeno disuelto. Un aumento en la temperatura, además, es un riesgo para la vida acuática.
- Conductividad: la medida de la conductividad de un cuerpo de agua permite conocer mucho acerca del metabolismo de un ecosistema acuático. Altas diversidades de especies corresponden a bajas conductividades, y viceversa.

- DQO: la demanda química de oxígeno se utiliza frecuentemente como un indicador de la presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales. Los valores superiores a 40 mg/l sugieren la presencia de descargas de aguas residuales crudas.⁵
- Sólidos en suspensión (SST): provienen de las aguas residuales y la erosión del suelo. El incremento en los niveles de SST en los cuerpos de agua afecta la diversidad de la vida acuática ya que causan turbiedad en el agua y reducen la penetración de la luz solar, impidiendo el desarrollo de la vegetación acuática natural.⁶
- Oxígeno disuelto (OD): es importante en procesos de fotosíntesis, oxidación-reducción, solubilidad de minerales y descomposición de materia orgánica. El OD es necesario para sostener la vida de los organismos acuáticos.

Es posible clasificar la calidad de un cuerpo de agua según su valor del ISQA. Los colores a utilizar para su representación cartográfica son los que se presentan en la tabla V.

⁵ SEMARNAT. *Capítulo 6. Agua. Calidad del agua.*
http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/06_agua/cap6_3.html. Consulta 5 de mayo de 2014.

⁶ *Ibíd.*

Tabla V. **Clasificación de la calidad del agua según el ISQA**

| Calidad | Valor | Significado | Color |
|----------------|--------------|--|--------------|
| Buena | 76-100 | Aguas claras, sin aparente contaminación. | Azul |
| Regular | 51-75 | Ligero color del agua, con espumas y ligera turbidez del agua, no natural. | Verde |
| Mala | 26-50 | Apariencia de aguas contaminadas y de fuerte olor. | Amarillo |
| Pésima | 0-25 | Aguas negras, con procesos de fermentación y olor. | Rojo |

Fuente: UAM. *Aproximación a los sistemas acuáticos lóticos: muestreo, tratamiento de datos e índices de calidad del agua.* p. 6.

2.5.2. Cálculo del valor del índice ISQA

Para el cálculo del valor numérico del ISQA, se utilizará la siguiente ecuación:

Ecuación 1: ecuación ISQA

$$ISQA = E(A + B + C + D)$$

Donde:

- E = temperatura del agua, en grados centígrados. Puede tomar valores entre 0,8 y 1, utilizando las siguientes ecuaciones:

Ecuación 2: valores que puede asumir E

$$E = 1, \quad \text{si } T \leq 20^{\circ}\text{C}$$

$$E = 1 - (T - 20) \cdot 0.0125 \quad \text{si } T > 20^{\circ}\text{C}$$

- A = demanda química orgánica (DQO), según la oxidabilidad al permanganato. Toma valores entre 0 y 30 utilizando las siguientes ecuaciones:

Ecuación 3: valores que puede asumir A

$$A = 30 - DQO \quad \text{si } DQO \leq 10 \frac{mg}{l}$$

$$A = 21 - (0,35 \cdot DQO) \quad \text{si } 60 \frac{mg}{l} \geq DQO > \frac{10mg}{l}$$

$$A = 0, \quad \text{si } DQO > 60 \frac{mg}{l}$$

- B = sólidos en suspensión totales (SST en miligramos por litros): toma valores entre 0 y 25, según las ecuaciones:

Ecuación 4: valores que puede asumir B

$$B = 25 - (0,15 \cdot SST) \quad \text{si } SST \leq 100 \text{ mg/l}$$

$$B = 17 - (0,07 \cdot SST) \quad \text{si } 250 \frac{mg}{l} \geq SST > 100 \frac{mg}{l}$$

$$B = 0 \quad \text{si } SST > 250 \text{ mg/l}$$

- C = oxígeno disuelto (OD en miligramos por litros): toma valores entre 0 y 25, según las ecuaciones:

Ecuación 5: valores que puede asumir C

$$C = 2,5 \cdot OD \quad \text{si } OD < 10 \text{ mg/l}$$

$$C = 25 \quad \text{si } OD \geq 10 \text{ mg/l}$$

- D = Conductividad (CE en microsiemens por centímetros): si la conductividad se mide a 25 °C, para obtener la conversión a 18 °C, se multiplica por un factor de 0,86. Toma valores entre 0 y 20, según las ecuaciones:

Ecuación 6: valores que puede asumir D

$$D = (3,6 - \log CE) \cdot 15,4 \text{ si } CE \leq 4000 \mu S/cm$$

$$D = 0, \text{ si } CE > 4000 \mu S/cm$$

El ISQA oscila entre valores de 0 a 100, siendo 0 la calidad mínima y 100 la máxima.

2.6. Caracterización de la microcuenca del río Contreras

La caracterización de una cuenca está dirigida fundamentalmente a cuantificar todos los parámetros que describen su estructura física y territorial con el fin de establecer las posibilidades y limitaciones de sus recursos naturales, pero también, para identificar los problemas presentes y potenciales.⁷

Para la realización del presente estudio, es necesario conocer las características y condiciones de la microcuenca del río Contreras. Se describen dos aspectos de mayor importancia: aspectos socioeconómicos y aspectos biofísicos.

⁷ UMAÑA GOMEZ, E. *Educación ambiental con enfoque en manejo de cuencas y prevención de desastres*. p. 14.

2.6.1. Aspectos socioeconómicos

Son las experiencias sociales, económicas y las realidades que ayudan a moldear la personalidad, las actitudes y la forma de vida. También pueden estar definidos por las regiones y los vecindarios. Los organismos de seguridad del país, por ejemplo, siempre citan los factores socioeconómicos de la pobreza relacionados con el alto nivel de crímenes.

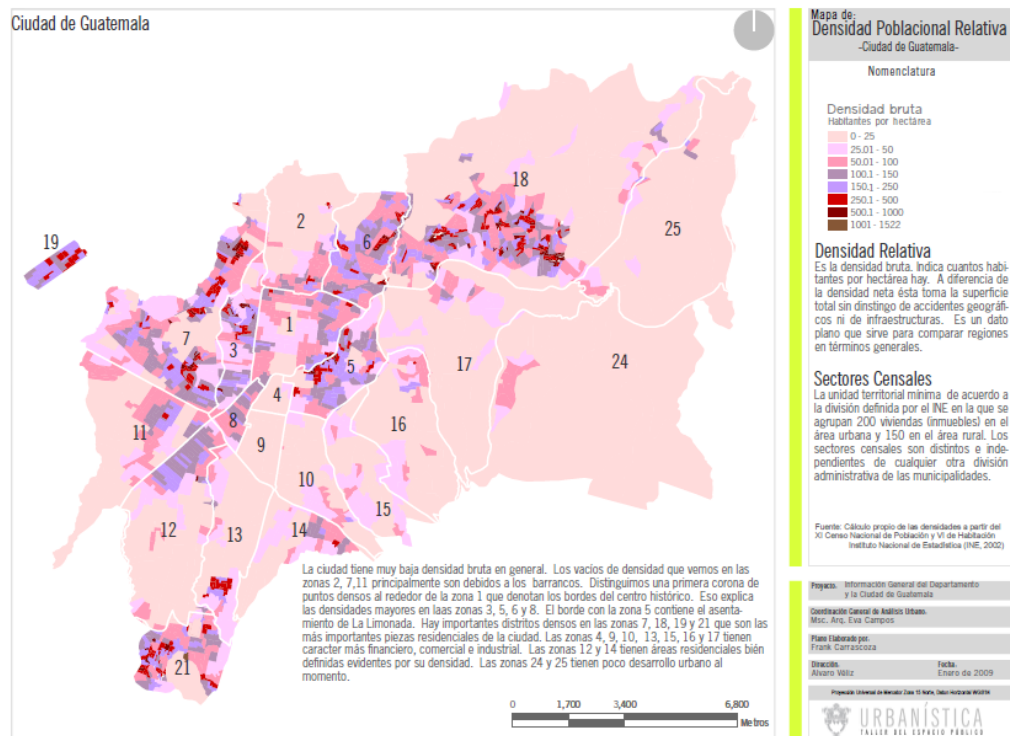
2.6.1.1. Demografía

La microcuenca del río Contreras está ubicada entre la zona 15 y zona 16 del municipio de Guatemala.

Según el mapa de densidad poblacional, se observa que en dichas zonas la densidad bruta (expresada en habitantes por hectárea) varía desde el rango de 0 – 25 hab/ha, hasta alcanzar valores máximos de 50,1 – 100, esto se debe, principalmente, a que estas zonas tienen un carácter de tipo financiero, comercial e industrial. Estos datos datan del año 2009.

Actualmente, este sector de la ciudad ha crecido demográficamente ya que ha aumentado la cantidad de proyectos habitacionales (condominios, edificios residenciales, entre otros).

Figura 3. Mapa de densidad poblacional



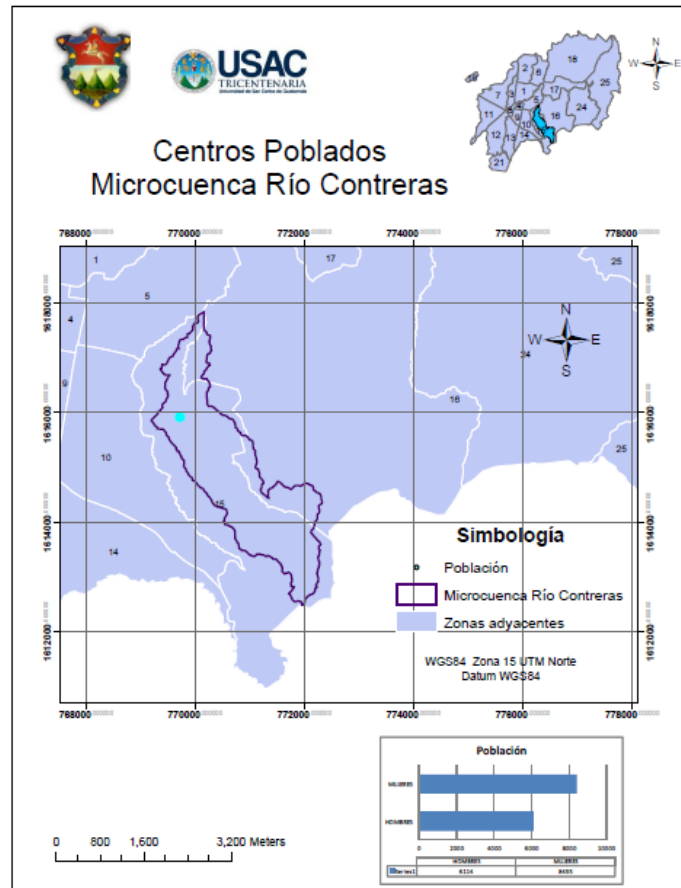
Fuente: Municipalidad de Guatemala.

En las zona 15 y 16 capitalinas predomina una estratificación socioeconómica por sector censal de carácter alto en su mayoría, con algunas zonas clasificadas como medio alto, medio y muy bajo, por la presencia de asentamientos en áreas de barrancos y laderas, especialmente en la microcuenca del río Contreras.⁸

En relación con los centros poblados, se identifican los siguientes sectores, clasificando la cantidad de habitantes según género.

⁸ INE. IX Censo de Población y VI de Habitación, 2002.

Figura 4. **Mapa de centros poblados**



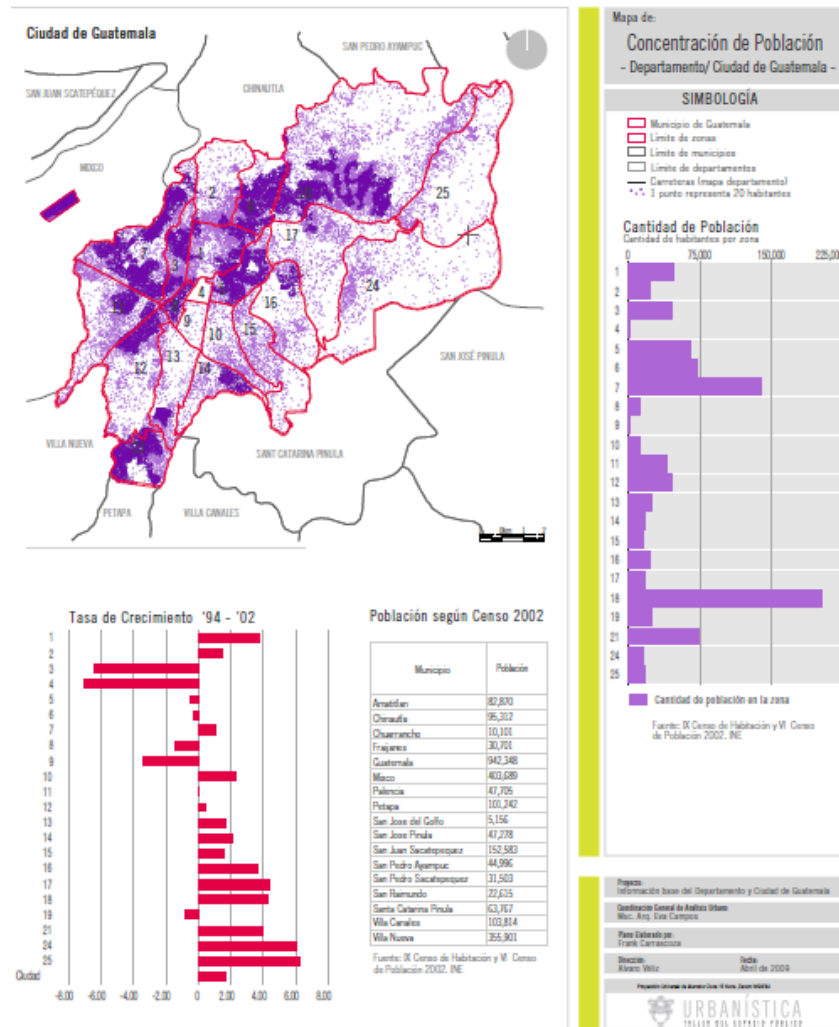
Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Photoshop.

Según el siguiente mapa, se evidencia que las zonas 15 y 16 están en un proceso de aumento de densidad, debido al número de proyectos residenciales que se han desarrollado en la última década.

La cantidad de población en la zona 15 y 16 del municipio es alrededor de 18,000 habitantes en cada una.⁹

⁹ INE.IX Censo de Habitación y VI Censo de Población, 2002.

Figura 5. Mapa de concentración de la población

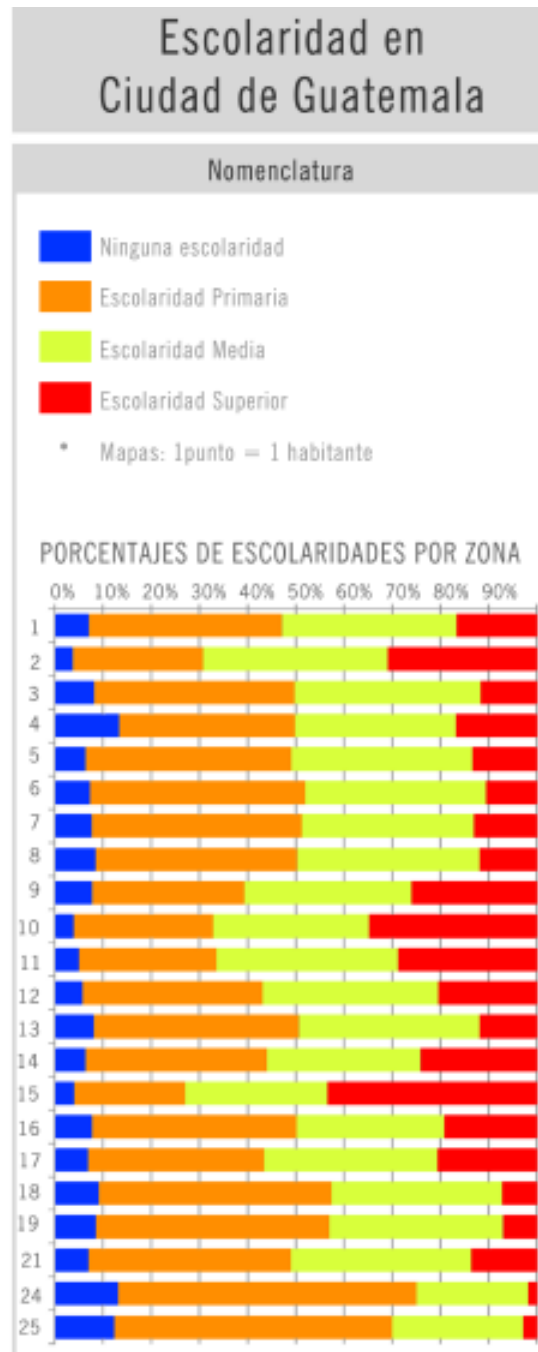


Fuente: Municipalidad de Guatemala.

2.6.1.2. Educación

Según el mapa de escolaridad en ciudad de Guatemala, en el área influyente de la microcuenca del río Contreras la población, mayoritariamente, tiene un porcentaje de escolaridad desde primaria hasta superior.

Figura 6. **Escolaridad en la ciudad de Guatemala**



Fuente: INE. IX Censo de Población y VI Censo de Habitación.

Tabla VI. **Nivel de escolaridad de población mayor de 7 años de edad**

| <i>ZONA</i> | <i>TOTAL</i> | <i>NINGUNA</i> | <i>PRIMARIA</i> | <i>MEDIA</i> | <i>SUPERIOR</i> |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------------|-----------------|
| 15 | 13382 | 543 | 3066 | 3970 | 5803 |
| 16 | 16757 | 1294 | 7111 | 5144 | 3208 |

Fuente: INE. IX Censo de Población y VI Censo de Habitación, 2002.

2.6.1.3. Organización social

La microcuenca del río Contreras se encuentra en terreno infrascrito a la Municipalidad de Guatemala, por lo que depende de todas sus políticas, reglamentos, Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y demás documentos que se relacionen de una u otra manera.

Además, existen organizaciones de los habitantes del sector, como la asociación para la recuperación integral microcuencas río Negro y río Contreras (ARICNECO), la cual está integrada por los vecinos de las microcuencas de los ríos Negro, Contreras y Santa Rosita (ubicados en las siguientes colindancias: Vista Hermosa 2 – zona 15 y zona 10; Vista Hermosa 1 – zona 15 y zona 16), con el objeto de lograr el rescate, saneamiento, transformación y aprovechamiento de los barrancos por donde pasan los ríos que, además de ser receptores del agua para el manto freático, forman parte del Cinturón Ecológico y Pulmón Reserva Biológica de la ciudad de Guatemala.¹⁰

La asociación trabaja, en conjunto, con las autoridades municipales para solucionar el problema del uso de los ríos como basureros realizando campañas de formación y reglamentación.¹¹

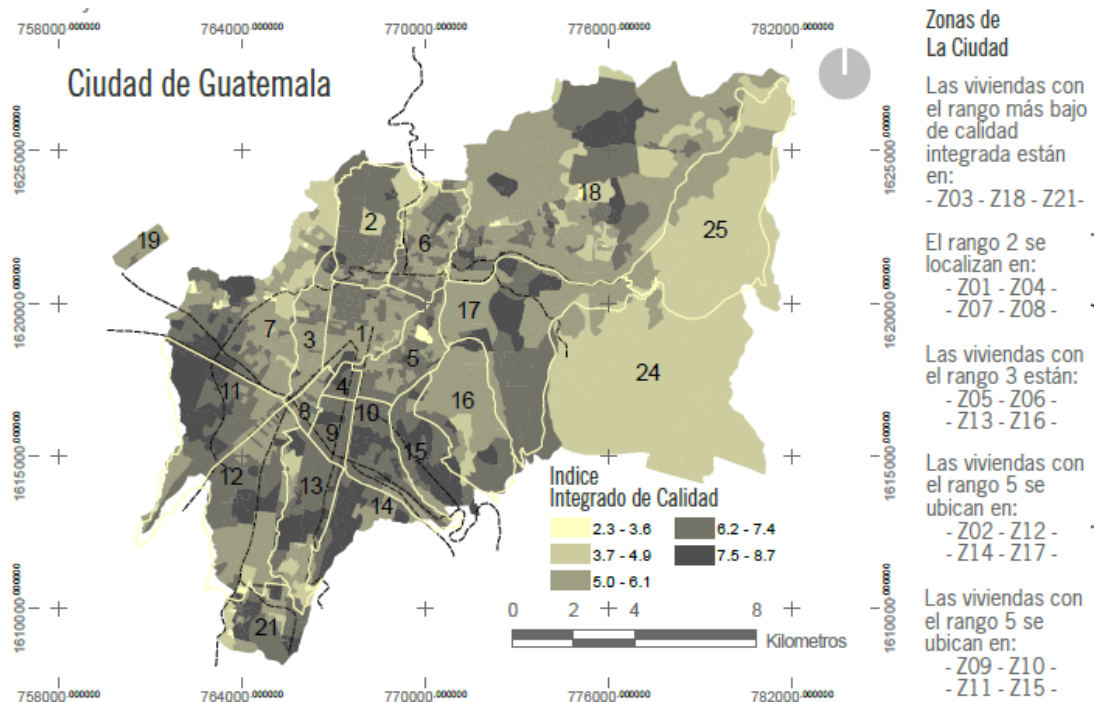
¹⁰ ARICNECO. *Microcuencas ríos Negro y Contreras*.
<http://quetzalania.com/2011/?p=564>. Consulta: 05 de mayo de 2014.

¹¹ *Ibid.*

2.6.1.4. Infraestructura y vivienda

El indicador de calidad de vivienda está dado en una escala de 1 a 10. Entiéndase entonces como un indicador de la baja o alta calidad de los materiales. El rango de calidad de vivienda fue obtenido a partir del promedio de tres indicadores: de muro, de piso y de techo de las viviendas.

Figura 7. Mapa de calidad de vivienda



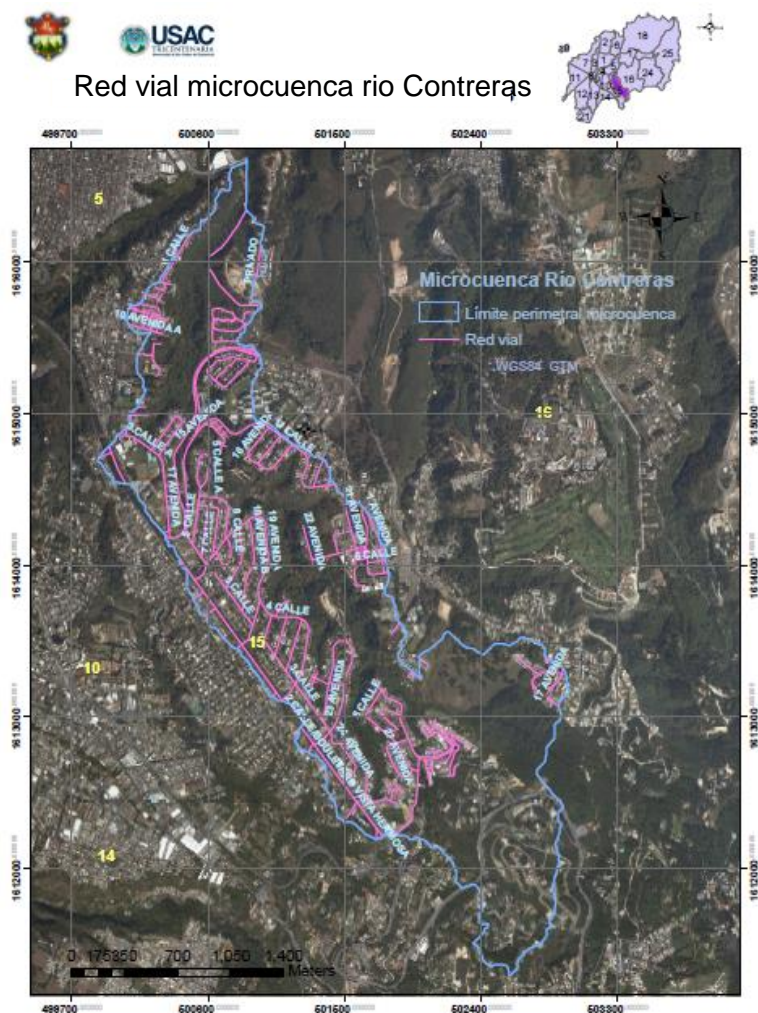
Fuente: Municipalidad de Guatemala.

Como se observa en el mapa anterior, las viviendas e infraestructura del sector de la microcuenca del río Contreras tiene un índice integrado de la calidad de 7,5 – 8,7 (rango 5) en su mayoría, lo que indica una buena calidad de viviendas.

Se construyen muros de *block*, concreto y ladrillo, techos de concreto, asbesto y lámina y pisos de ladrillo de cemento, ladrillo cerámico y torta de cemento, como los materiales predominantes para todo el municipio.

En cuanto a la red vial del sector, el acceso más utilizado es el boulevard Vista Hermosa, zona 15.

Figura 8. Mapa de red vial



Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Photoshop.

2.6.1.5. Salud y sanidad pública

El sector se encuentra en una zona mayormente comercial, pero existen sanatorios, clínicas y hospitales cercanos.

En cuanto al acceso al agua potable, Empagua es el responsable de la cobertura de agua potable en el municipio.

Para la zona 15 capitalina, que cuenta con 3 826 hogares, la cobertura municipal de agua potables es de 91,30 %, mientras que para la zona 16, con 4 324 hogares, la cobertura es de 79,02 %. ¹²

La cobertura del servicio de agua potable puede ser exclusivamente municipal, compartida o pública. También existen otros servicios como pozos, camiones, río y otros.

De la zona 15, un 0 % utiliza agua de río para su cobertura de agua potable, mientras que en zona 16, un 0,35 % sí utiliza un río para su abastecimiento de agua potable.¹³ Esto se debe, principalmente, a que los ríos que pasan por el sector están severamente contaminados por basura y aguas residuales crudas.

2.6.2. Aspectos biofísicos

Además del aspecto socioeconómico de la microcuenca del río Contreras, es necesario conocer sus características biológicas, geológicas y físicas, para un mejor manejo y aprovechamiento de sus recursos.

¹² INE. IX Censo de Habitación y VI Censo de Población, 2002.

¹³ *Ibíd.*

2.6.2.1. Cinturón Ecológico Metropolitano

El artículo 9 del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de la Municipalidad de Guatemala establece una clasificación del municipio según su vocación territorial, en la cual, define:

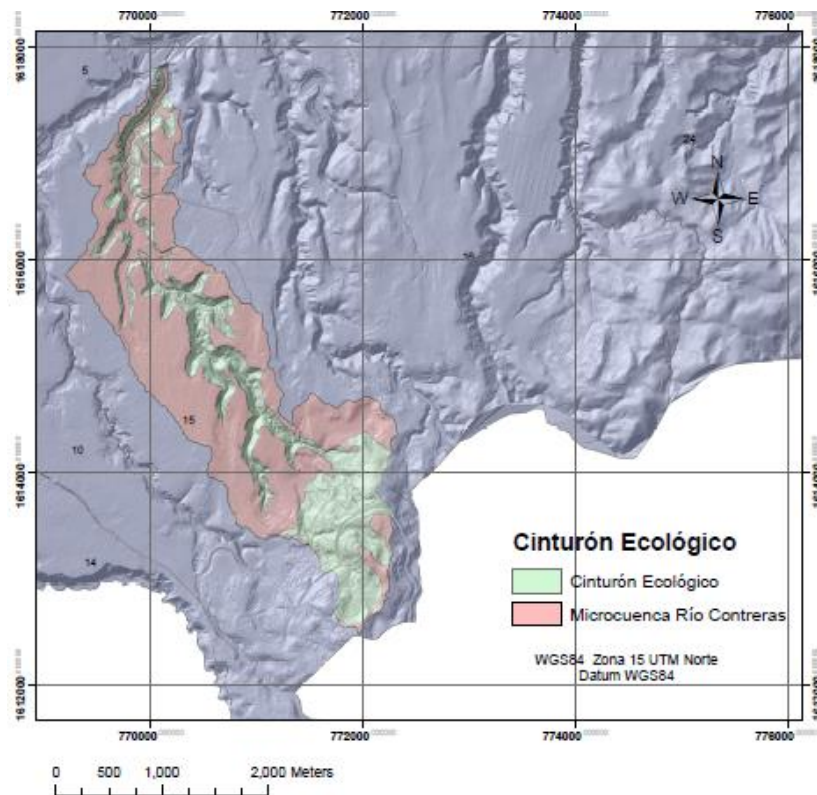
- Zonas generales: constituyen la caracterización de la mayor parte del territorio y que comprende:
 - Zonas generales naturales y rurales: constituyen las áreas de interés ambiental y de riesgo de desastres, identificadas de conformidad con la topografía del terreno, y que forman el Cinturón Ecológico del Municipio de Guatemala. Las zonas generales G0 (natural) y G1 (rural) conformarán el Cinturón Ecológico del municipio de Guatemala.
 - Zona general G0: constituyen las áreas, predios o partes de predios con pendientes del nivel natural del terreno mayores de cuarenta grados, así como las franjas de protección de ríos, riachuelos o quebradas de quince metros medidos desde cada una de las riberas.
 - Zona general G1: constituyen las áreas, predios o partes de predios con pendientes del nivel natural del terreno mayores de veinte grados y menores o iguales a cuarenta grados.¹⁴

De esta forma, se hace la representación gráfica del Cinturón Ecológico dentro de la microcuenca del río Contreras, el cual un gran porcentaje de

¹⁴ CONSEJO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE GUATEMALA. *Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Guatemala*. Artículo 9. 2013. p. 6.

terreno, ya que cumple con las especificaciones establecidas en el POT donde se identifican, mayormente, zonas generales G0.

Figura 9. **Mapa de Cinturón Ecológico**



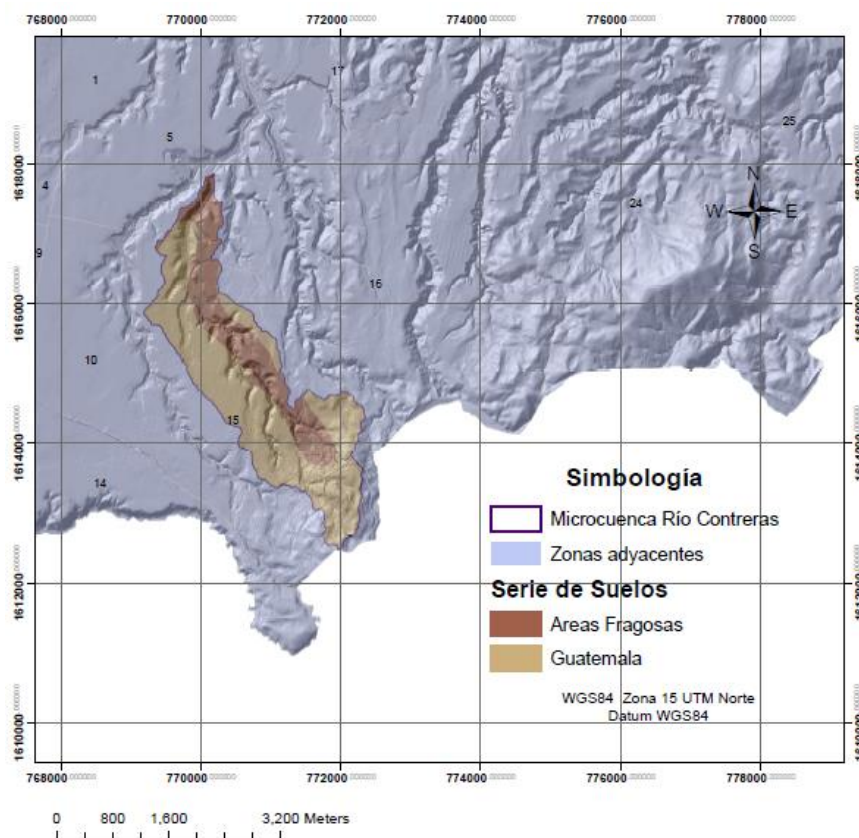
Fuente: elaboración propia, con programa Photoshop.

2.6.2.2. **Serie de suelos**

Según el mapa que se presenta a continuación, la microcuenca del río Contreras posee dos series de suelos, según la clasificación de Simmons para Guatemala:

- Serie áreas fragasas (AF): incluyen zonas de terreno severamente erosionado, cortado por zanjas y barrancos, poco o ningún uso agrícola a excepto del uso forestal, ensanchamiento constante de zanjas y aplicación de técnicas de conservación de suelos.
- Serie Guatemala: suelos poco profundos sobre material volcánico débilmente cementado de relieve demasiado escarpado para el uso de cultivos limpios.

Figura 10. **Mapa de serie de suelos**



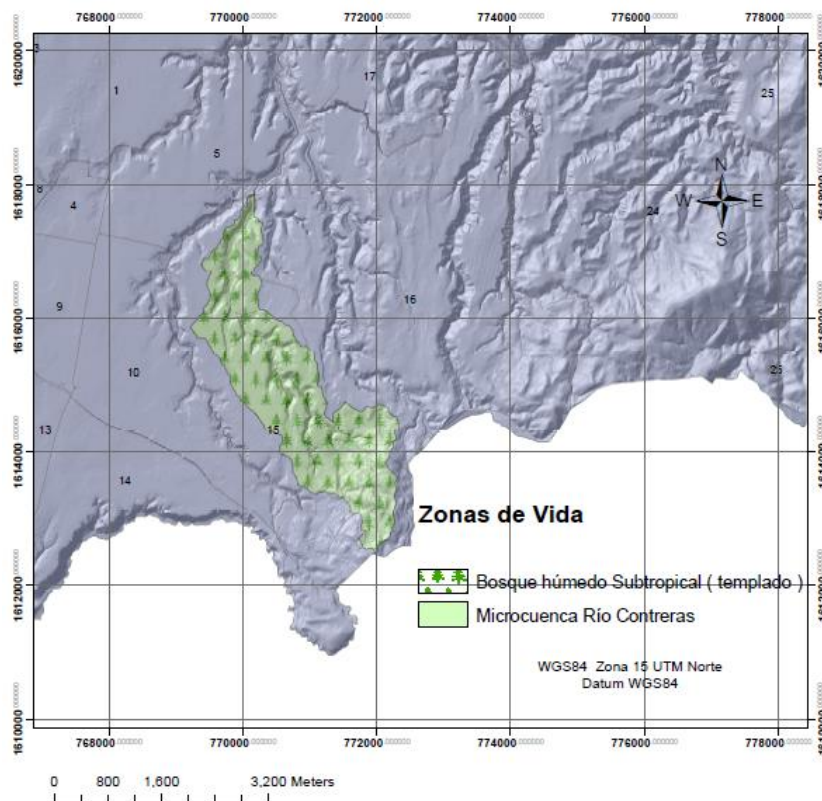
Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Photoshop.

2.6.2.3. Zonas de vida

En cuanto a las zonas de vida presentes en la microcuenca del río Contreras, existe únicamente una de ellas:

Bosque húmedo subtropical (templado): se caracteriza por la presencia de precipitación con más frecuencia entre mayo y noviembre. La biotemperatura oscila entre 20 y 26 °C. El terreno tiene un relieve ondulado y accidentado.

Figura 11. Mapa de zonas de vida

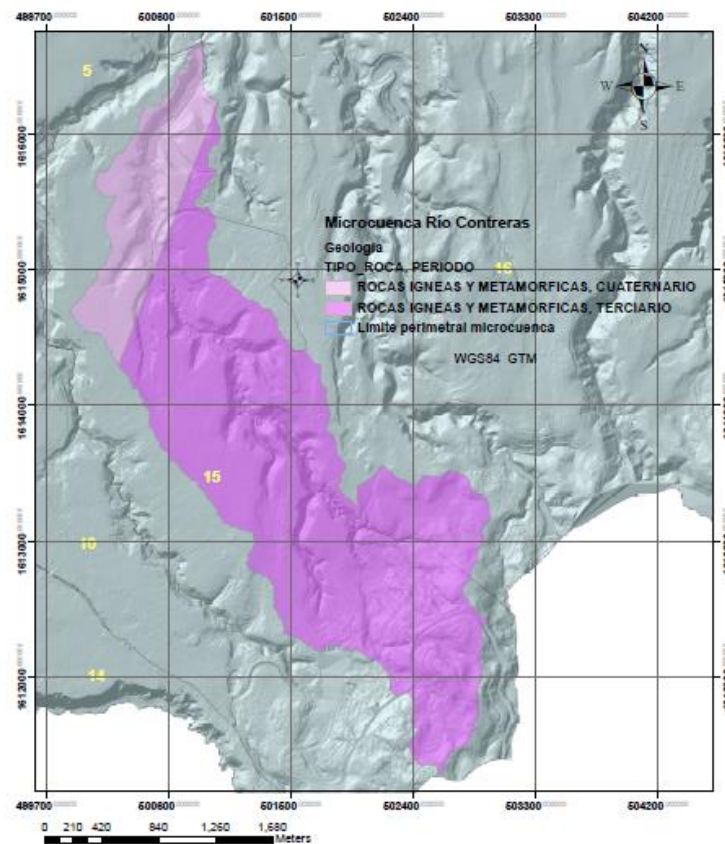


Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Photoshop.

2.6.2.4. Geología

La geología de la microcuenca del río Contreras presenta rocas ígneas metamórficas en la totalidad del terreno, con la variación del período en el que se formaron.

Figura 12. Mapa de geología



Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Photoshop.

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

Debido a que se requieren dos tipos de muestreo, uno para el índice biótico BMWP y otro para el índice fisicoquímico, ISQA, se diferencian dos tipos de variables:

- Variables independientes:
 - Demanda química de oxígeno (DQO), en miligramos por litros
 - Temperatura, en grados centígrados
 - Oxígeno disuelto, en miligramos por litros
 - Sólidos en suspensión, en miligramos por litros
 - Conductividad, en microsiemens por centímetros
 - Puntuación BMWP de la biota presente

- Variables dependientes:
 - Índice simplificado de calidad del agua, ISQA
 - Índice biótico BMWP

Todas las variables establecidas anteriormente, son susceptibles de monitoreo tanto en época seca como en época lluviosa.

- DQO: la demanda química de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar, tanto la materia orgánica como inorgánica, en una muestra de agua residual. La cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno. DQO se expresa en miligramos por litros.
- Temperatura: es la medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia, en este caso, el agua. Se utiliza un termómetro para obtener la medida de la temperatura en grados centígrados.
- Oxígeno disuelto: se refiere a la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua. Es un indicador de contaminación del agua ya que permite la vida en ella. Niveles altos de oxígeno disuelto indican mejor calidad del agua, mientras que los niveles bajos impiden la sobrevivencia de animales. Se mide *in situ*, en mg/l.
- Sólidos en suspensión: se refiere a las partículas que permanecen en suspensión en el agua debido al movimiento del fluido, o debido a que su densidad es menor o igual a la del agua. Es posible eliminar dichos sólidos por medio de filtración y sedimentación.
- Conductividad: se define como la habilidad de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido. El agua se conoce por ser un buen conductor de la electricidad. Es medida en microsiemens por centímetros.
- Puntuación BMWP de la biota: se refiere a la clasificación que se le ha dado a cada macroinvertebrado, según su grado de sensibilidad o tolerancia a los contaminantes. Estos números van del 1 al 10. El 1 indica

menor sensibilidad y así sucesivamente hasta llegar al 10, que señala al más sensible.

- Índice simplificado de calidad del agua, ISQA: índice sencillo de utilizar, permite conocer de manera rápida la calidad del agua. Se obtiene a partir de una sencilla ecuación que requiere 5 parámetros fisicoquímicos.
- Índice biótico BMWP: índice de calidad del agua basado en la asignación a las familias de macroinvertebrados acuáticos de valores de tolerancia a la contaminación comprendidos entre 1 hasta 10. La suma de los valores obtenidos para cada familia en un punto de la microcuenca determina el grado de contaminación de dicho punto.

3.2. Recursos materiales disponibles

- Información y herramientas SIG:
 - *Shape* del Cinturón Ecológico Metropolitano – Municipalidad de Guatemala.
 - *Shapes* de características biofísicas – Instituto Nacional de Bosques (Inab), Instituto Nacional de Estadística (INE), Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh) y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (Maga).
 - Software ArcGis 10.1 para llevar a cabo cada análisis de datos SIG.
 - Equipo de computación capaz de soportar el software a utilizar.

- Equipo y herramientas a utilizar:
 - GPS marca Garmin Etrex – Dirección de Medio Ambiente Municipalidad de Guatemala.
 - Cámara digital – Dirección de Medio Ambiente Municipalidad de Guatemala.
 - Vehículo mecánico, marca Suzuki – Dirección de Medio Ambiente Municipalidad de Guatemala.
 - Cinta métrica – Dirección de Medio Ambiente Municipalidad de Guatemala.
 - Red tipo D – Lic. Norma Gil, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (Cema), Usac.
 - Medidor de oxígeno disuelto, marca Hach – Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac.
 - Conductímetro, marca Hach – Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac.
 - Espectrofotómetro – Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac.
 - Termoreactor – Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac.
 - Balanza analítica – Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac.
 - Bomba de vacío – Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac.
 - Horno de secado – Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac.

- Reactivos de DQO – Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac.
- Pipeta de 5 cm³.
- Probeta de 10 cm³.
- Filtros para análisis de sólidos en suspensión – Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac.
- Kitasato.
- Termómetro.
- Bolsas tipo *ziploc* para guardar las muestras de macroinvertebrados
- Guantes de látex.
- Hielera o recipiente para transportar muestras de macroinvertebrados.
- Etanol al 70 %.
- Glicerina para conservar muestras de macroinvertebrados.
- Botas de hule para realizar muestreos.
- Recipientes plásticos de 1 litro de capacidad para transportar muestras de agua residual.
- Recipientes para muestras biológicas (capacidad 100 ml).
- Lupas.
- Estereoscopio – Facultad de Ingeniería, Usac.
- Bandeja plástica blanca para identificación de especies.
- Palangana plástica.
- Colador plástico.
- Pinzas.
- Papel mayordomo.
- Agua destilada.
- Hojas de campo, a utilizar en cada punto de muestreo.

3.3. Metodología a utilizar para el muestreo de macroinvertebrados acuáticos

A continuación se explica la metodología a utilizar para el muestreo de macroinvertebrados acuáticos.

3.3.1. Planificación

Hacer una planificación lógica del recorrido, procurando optimizar recursos financieros, logísticos y otros. Tomar en cuenta las vías de acceso, el transporte adecuado, estado del tiempo, disponibilidad de tiempo para el recorrido, entre otros.

Hacer una calendarización de los muestreos a realizar en cada temporada, para tener una organización interna.

Estructurar un formulario u hoja de campo para el registro de las condiciones particulares de cada sitio.

3.3.2. Preparación de materiales y equipo necesario

Preparar los materiales que son necesarios para el muestreo, como: botas de hule, red de muestreo tipo D, bolsas plásticas tipo *ziploc*, alcohol al 70 %, guantes de látex, hielera, hoja de campo, GPS, cinta métrica, glicerina, medidor de oxígeno disuelto y cualquier otro insumo que sea necesario para el muestreo.

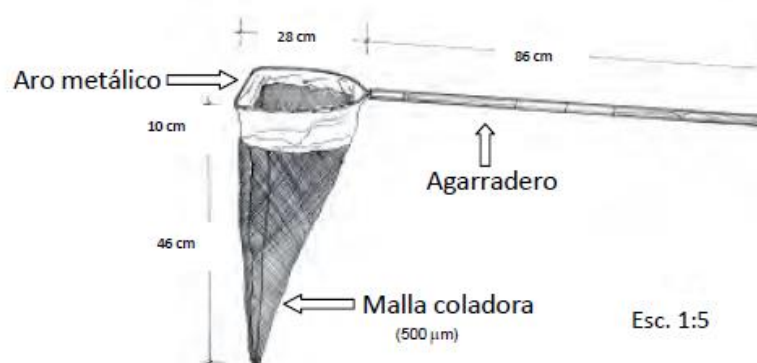
3.3.3. Muestreo con red D

Es uno de los métodos más prácticos y utilizados para este tipo de investigación.

3.3.3.1. Descripción de la red D

La red D está formada por: agarradero, aro metálico en forma de letra D, cedazo o malla con poro de 500 μm flexible, que cumple las funciones de un colador.

Figura 13. Descripción red D



Fuente: SERMEÑO CHICAS. *Descripción red D*. p. 8.

3.4. Procedimiento de muestreo

- Seleccionar un tramo de río no superior a 50 m de largo. Este tramo debe ser representativo de la generalidad del río, sin indicios de haber sido perturbado recientemente. Debe tener, de preferencia, la mayor cantidad de hábitats posible.

- Identificar y observar los diferentes hábitats presentes en el tramo del río seleccionado. Previo al inicio del muestreo, es necesario haber identificado los posibles sitios a muestrear con la red D. Al iniciar el muestreo se hará el recorrido procurando tomar en cuenta los diferentes hábitats identificados, tratando de recolectar la mayor diversidad posible.
- La persona encargada del muestreo debe tomar medidas de seguridad antes de empezar el muestreo. Esto significa, colocarse equipo de protección personal (guantes, botas y otros.) e identificar zonas de riesgo en el río.
- Dividir los microhábitats en tres partes lo más adyacente posible y en cada una de estas partes se mostrará intensivamente durante un periodo de 5 minutos (por submuestra) para un total de 15 minutos para las tres submuestra.
- Iniciar el proceso de muestreo, cronometrando la cuenta regresiva de cinco minutos, colocando la red D en posición vertical tomándola por la parte más alta del agarradero y colocarla a contracorriente en contacto con el fono de la superficie del río a muestrear.
- Tomar la información necesaria del lugar y registrarla en la hoja de campo.
- Después del muestreo de 5 minutos, recolectar la muestra que queda atrapada en la red D e introducirla en una bolsa plástica tipo *ziploc* con alcohol al 70 % y glicerina, para que la muestra se conserve y evitar daños a los organismos atrapados.
- Inspeccionar cuidadosamente la red D para atrapar con pinzas los insectos o artrópodos que han quedado adheridos a la red y colocarlos en su respectiva bolsa.
- Cuando se haya colocado en la bolsa todo el material recolectado posiblemente sea necesario agregar más alcohol, procurando que el material siempre quede cubierto.

- Cerrar la bolsa e introducir en una nueva bolsa plástica vacía, para evitar posibles derrames.
- Enjuagar adecuadamente la red D con agua limpia, antes de continuar con la toma de la segunda submuestra.
- Continuar con el muestreo hasta completar las tres submuestras siguiendo el mismo procedimiento.
- Al finalizar el muestreo, lavar la red con suficiente agua limpia y revisarla para evitar el traslape de organismos de un punto con otro.
- Colocar las submuestras en una hielera o recipiente estable para su traslado al lugar de procesamiento.

3.5. Análisis de muestras de macroinvertebrados en laboratorio

- Colocar las muestras donde no puedan ser derramadas.
- Examinar el material recolectado en las bolsas plásticas con la ayuda de lupas o un estereoscopio, para la búsqueda de organismos.
- Con la ayuda de una cuchara plástica, tomar parte del material recolectado y esparcirlo en una bandeja plástica de color blanco, para poder visualizar los organismos.
- Colocar la caja Petri al estereoscopio para ser observada.
- Ayudarse de claves y guías taxonómicas para la identificación de organismos.
- Colocar los organismos en un recipiente con una porción de alcohol y glicerina, para su conservación.
- Dicho recipiente debe ser identificado según la fecha de muestreo, punto de muestreo, identificación de familia y tipo de muestreo (red D).
- Colocar los recipientes en un área determinada, para tener un banco de datos.

4. RESULTADOS

4.1. Muestra de cálculo para la determinación del índice fisicoquímico ISQA

A continuación se explica la muestra de cálculo para la determinación del índice fisicoquímico ISQA.

4.1.1. Cálculo de sólidos suspendidos totales (SST) en miligramos por litros

El contenido en sólidos en suspensión se calcula a partir de la siguiente expresión:

Ecuación 7: cálculo de sólidos en suspensión

$$SST \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{Peso\ final\ (g) - Peso\ inicial\ (g)}{Volumen\ (l)} \times 1000\ mg/g$$

Tabla VII. Datos originales SST en muestra 1, Parque Ecológico Cayalá

| Muestreo 1 | Punto | Masa final (g) | Masa inicial (g) | volumen (l) |
|------------|---------------|----------------|------------------|-------------|
| | Parque Cayalá | 0,0789 | 0,0786 | 0,01 |

Fuente: elaboración propia .

Por lo tanto, para el punto muestreado, el contenido en sólidos en suspensión es el siguiente:

$$SST = \frac{0,0789g - 0,0786g}{0,1 l} \times 1000mg/g = 30 mg/l$$

Se utilizó la ecuación 7 para los demás casos de cada muestreo.

4.1.2. Cálculo del valor del parámetro E de temperatura en la ecuación del ISQA

En la tabla VIII se describen los datos originales de temperatura en muestra 1, del Parque Ecológico Cayalá.

Tabla VIII. **Datos originales de temperatura en muestra 1, Parque Ecológico Cayalá**

| Parámetro | Medición |
|------------------|----------|
| Temperatura (°C) | 22,2 |

Fuente: elaboración propia.

Se utilizó la ecuación 2 para obtener el valor del parámetro E. Según las restricciones de dicha ecuación, el valor del parámetro E se calculó de la manera siguiente:

$$E = 1 - (T - 20) \cdot 0,0125 \quad \text{si } T > 20^{\circ}C$$

$$E = 1 - (22,2 - 20) \cdot 0,0125 \quad \text{ya que } 22,2^{\circ}C > 20^{\circ}C$$

$$E = 0,973$$

Se utilizó la ecuación 2 para los demás casos de cada muestreo, tomando en cuenta las restricciones de dicha ecuación.

4.1.3. Cálculo del valor del parámetro A de demanda química orgánica (DQO) en la ecuación del ISQA

En la tabla IX se muestran los datos originales DQO en el Parque Ecológico Cayalá.

Tabla IX. Datos originales DQO en muestra 1, Parque Ecológico Cayalá

| Parámetro | Medición |
|------------|----------|
| DQO (mg/l) | 33 |

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del valor del parámetro A se utilizó la ecuación 3, tomando en cuenta las restricciones de dicha ecuación, se determinó el valor de A de la siguiente manera:

$$A = 21 - (0,35 \cdot DQO) \quad \text{si } 60 \frac{mg}{l} \geq DQO > \frac{10mg}{l}$$

$$A = 21 - (0,35 \cdot 33) \quad \text{ya que } 60 \frac{mg}{l} \geq 33 \frac{mg}{l} > \frac{10mg}{l}$$

$$A = 9,45$$

Se utilizó la ecuación 3 para los demás casos de cada muestreo, tomando en cuenta las restricciones de dicha ecuación.

4.1.4. Cálculo del valor del parámetro B de sólidos en suspensión totales (SST) en la ecuación del ISQA

En la tabla X se muestran los datos calculados de SST del Parque Ecológico Cayalá.

Tabla X. **Datos calculados de SST en muestra 1, Parque Ecológico Cayalá**

| Parámetro | Medición |
|------------|----------|
| SST (mg/l) | 30 |

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del valor del parámetro B se utilizó la ecuación 4, tomando en cuenta las restricciones de dicha ecuación, se determinó el valor de B de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} B &= 25 - (0,15 \cdot SST) \text{ si } SST \leq 100 \text{ mg/l} \\ B &= 25 - (0,15 \cdot 30) \text{ ya que } 30 \text{ mg/l} \leq 100 \text{ mg/l} \\ B &= 20,5 \end{aligned}$$

Se utilizó la ecuación 4 para los demás casos de cada muestreo, tomando en cuenta las restricciones de dicha ecuación.

4.1.5. Cálculo valor del parámetro C de oxígeno disuelto (OD) en la ecuación del índice ISQA

En la tabla XI se muestran los datos originales de OD en la muestra 1 del Parque Ecológico Cayalá.

Tabla XI. **Datos originales de OD en muestra 1, Parque Ecológico Cayalá**

| Parámetro | Medición |
|-------------------------|----------|
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 3,45 |

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del valor del parámetro C se utilizó la ecuación 5. Tomando en cuenta las restricciones de dicha ecuación, se determinó el valor de C de la siguiente manera:

$$C = 2,5 \cdot OD \quad \text{si } OD < 10 \text{ mg/l}$$

$$C = 2,5 \cdot 3,45 \quad \text{ya que } 3,45 \text{ mg/l} < 10 \text{ mg/l}$$

$$C = 8,625$$

Se utilizó la ecuación 5 para los demás casos de cada muestreo, tomando en cuenta las restricciones de dicha ecuación.

4.1.6. **Cálculo valor del parámetro D de conductividad en la ecuación del ISQA**

En la tabla XII se muestran los datos de conductividad del Parque Ecológico Cayalá.

Tabla XII. **Datos originales de conductividad en muestra 1, Parque Ecológico Cayalá**

| Parámetro | Medición |
|-----------------------|----------|
| Conductividad (μS/cm) | 655 |

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del valor del parámetro D se utilizó la ecuación 6. Tomando en cuenta las restricciones de dicha ecuación, se determinó el valor de D de la siguiente manera:

$$D = (3,6 - \log CE) \cdot 15,4 \text{ si } CE \leq 4\,000 \mu S/cm$$

$$D = (3,6 - \log 655) \cdot 15,4 \text{ ya que } 655 \mu \frac{S}{cm} \leq 4\,000 \mu S/cm$$

$$D = 10,380$$

Se utilizó la ecuación 6 para los demás casos de cada muestreo, tomando en cuenta las restricciones de dicha ecuación.

4.1.7. Cálculo del índice fisicoquímico ISQA

A continuación se explica el cálculo del índice fisicoquímico ISQA

Tabla XIII. **Datos calculados de los parámetros a utilizar en muestra 1, Parque Ecológico Cayalá**

| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | | | |
|-------------------------------------|----------|-----------|--------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | Det. ISQA | |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 22.2 | E | 0,973 |
| DQO (mg/l) | 33 | A | 9,45 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 30 | B | 20,5 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 3,45 | C | 8,625 |
| Conductividad (uS/cm) | 655 | D | 10,380 |

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del valor numérico del ISQA, se utilizará la ecuación 1, como se establece a continuación:

$$ISQA = E(A + B + C + D)$$

$$ISQA = 0,973(9,45 + 20,5 + 8,625 + 10,380)$$

$$ISQA = 47,609$$

Según la tabla, se utilizó la ecuación 1 para los demás casos de cada muestreo.

4.2. Muestra de cálculo para la determinación del índice biótico BMWP

A continuación se explica la muestra de cálculo para la determinación del índice biótico BMWP.

Tabla XIV. **Macroinvertebrados encontrados en el primer muestreo de época seca, en el Parque Ecológico Cayalá**

| Ubicación | Orden | Familia | Puntaje correspondiente BMWP |
|--|------------------|---------------------|------------------------------|
| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | <i>Hirudinea</i> | <i>Haemopidae</i> | 3 |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> | 2 |
| | <i>Mollusca</i> | <i>Physidae</i> | 3 |

Fuente: elaboración propia.

Dado que el índice biótico BMWP es sencillamente la sumatoria de las puntuaciones de cada familia encontrada en el tramo muestreado:

$$BMWP = Puntuación_{Haemopidae} + Puntuación_{Chironomidae} + Puntuación_{Physidae}$$

$$BMWP = 3 + 2 + 3$$

$$BMWP = 8$$

Se utilizó el mismo procedimiento para los demás casos de cada punto muestreado.

4.3. Análisis estadístico de los datos

Para organizar y resumir datos, se utilizó la medida más conocida y útil para un conjunto dado de números, como es el caso de los resultados de los BMWP y el ISQA para cada muestreo realizado, la media o promedio aritmético del conjunto.

Ecuación 8: media muestral de un conjunto de números

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Por lo tanto, para el primer conjunto de resultados del ISQA:

Tabla XV. **Conjunto de resultados del índice ISQA para el Parque Ecológico Cayalá en época seca**

| ÉPOCA SECA | | |
|-------------------------------------|------------|----------------|
| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | | |
| Muestreo | Fecha | Resultado ISQA |
| 1 | 25/04/2014 | 47,609 |
| 2 | 30/04/2014 | 53,831 |
| 3 | 02/05/2014 | 64,097 |
| 4 | 07/05/2014 | 47,664 |
| 5 | 08/05/2014 | 57,626 |

Fuente: elaboración propia.

Para este conjunto de resultados, utilizando la ecuación 8, la media es:

$$\overline{ISQA} = \frac{47,609 + 53,831 + 64,097 + 47,664 + 57,626}{5}$$

$$\overline{ISQA} = 54,165$$

Se utilizó la ecuación 8 para los demás conjuntos de resultados de cada índice.

4.4. Tablas resumen de datos calculados

A continuación se muestran las tablas resumen de datos calculados.

4.4.1. Tablas resumen para ISQA

A continuación, las tablas XVI y XVII, son resúmenes de los datos de ISQA.

Tabla XVI. **Resultados para el ISQA durante época seca**

| ÉPOCA SECA | | | |
|-------------------------------------|---------------|----------------|----------|
| Ubicación | ISQA promedio | Interpretación | Color |
| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | 54,17 | Regular | Verde |
| Parte media: Ciudad vieja 2 | 39,38 | Mala | Amarillo |
| Parte alta: San Rafael I | 46,83 | Mala | Amarillo |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resultados para el ISQA durante época lluviosa**

| ÉPOCA LLUVIOSA | | | |
|-------------------------------------|---------------|----------------|-------|
| Ubicación | ISQA Promedio | Interpretación | Color |
| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | 72,54 | Regular | Verde |
| Parte media: Ciudad vieja 2 | 55,93 | Regular | Verde |
| Parte alta: San Rafael I | 67,80 | Regular | Verde |

Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Tablas resumen para índice biótico BMWP

A continuación las tablas XVIII y XIX son resúmenes de los datos del índice biótico BMWP.

Tabla XVIII. **Resultados para el índice BMWP durante época seca**

| ÉPOCA SECA | | | |
|-------------------------------------|---------------|----------------|-------|
| Ubicación | BMWP promedio | Interpretación | Color |
| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | 4,67 | Muy crítica | Rojo |
| Parte media: Ciudad vieja 2 | 5,75 | Muy crítica | Rojo |
| Parte alta: San Rafael I | 7,5 | Muy crítica | Rojo |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Resultados para el BMWP durante época lluviosa**

| ÉPOCA LLUVIOSA | | | |
|-------------------------------------|---------------|----------------|-------|
| Ubicación | BMWP promedio | Interpretación | Color |
| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | 6,25 | Muy crítica | Rojo |
| Parte media: Ciudad Vieja 2 | 4,5 | Muy crítica | Rojo |
| Parte alta: San Rafael I | 4 | Muy crítica | Rojo |

Fuente: elaboración propia.

4.5. Correlación entre índice simplificado de calidad del agua (ISQA) e índice biótico BMWP

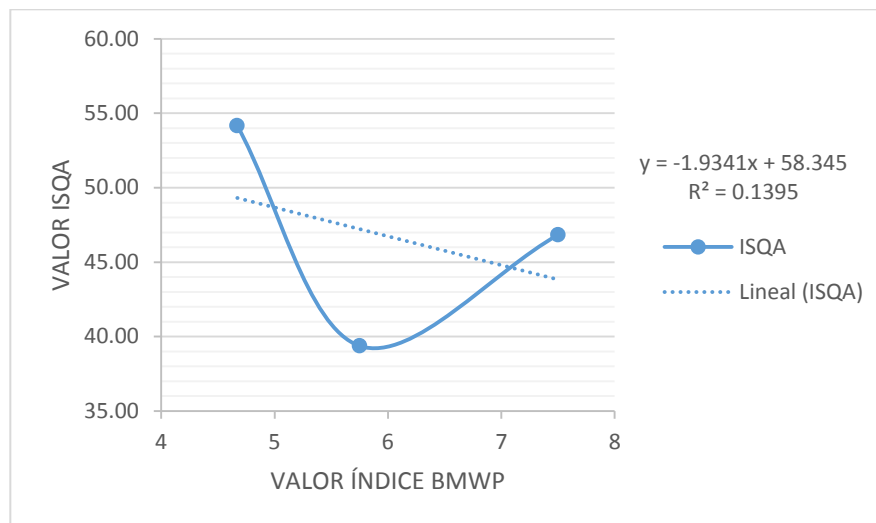
A continuación se muestra la correlación entre índice simplificado de calidad del agua (ISQA) e índice biótico BMWP.

Tabla XX. Correlación entre BMWP e ISQA época seca

| Época Seca | | |
|-------------|---------------|---------------|
| Ubicación | BMWP promedio | ISQA promedio |
| Parte baja | 4,67 | 54,17 |
| Parte media | 5,75 | 39,38 |
| Parte alta | 7,5 | 46,83 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Gráfica de correlación entre BMWP e ISQA para época seca



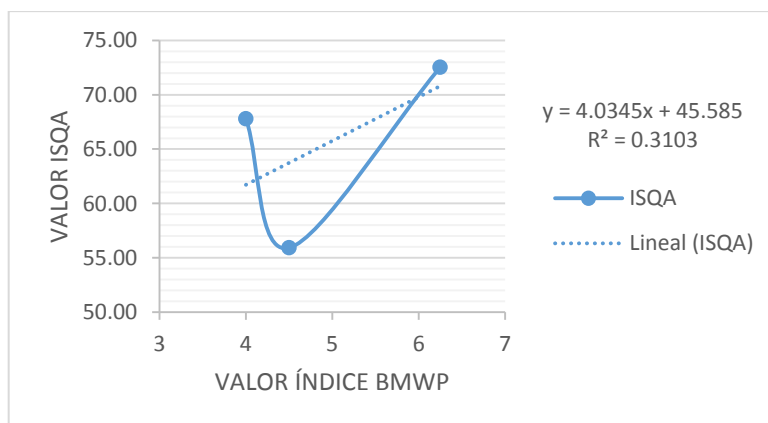
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Correlación entre BMWP e ISQA época lluviosa**

| Época Lluviosa | | |
|----------------|---------------|---------------|
| Ubicación | BMWP promedio | ISQA promedio |
| Parte baja | 6,25 | 72,54 |
| Parte media | 4,5 | 55,93 |
| Parte alta | 4 | 67,80 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Gráfica de correlación entre BMWP e ISQA para época lluviosa**



Fuente: elaboración propia.

4.6. **Determinación del tipo de correlación entre índice simplificado de calidad del agua (ISQA) e índice biótico BMWP**

Debido a que se evidencia en las figuras anteriores (ver figura 14 y 15) que el tipo de correlación entre los índices ISQA y BMWP no fue de tipo lineal o proporcional (coeficiente de correlación R^2 muy lejano a 1, por lo tanto se

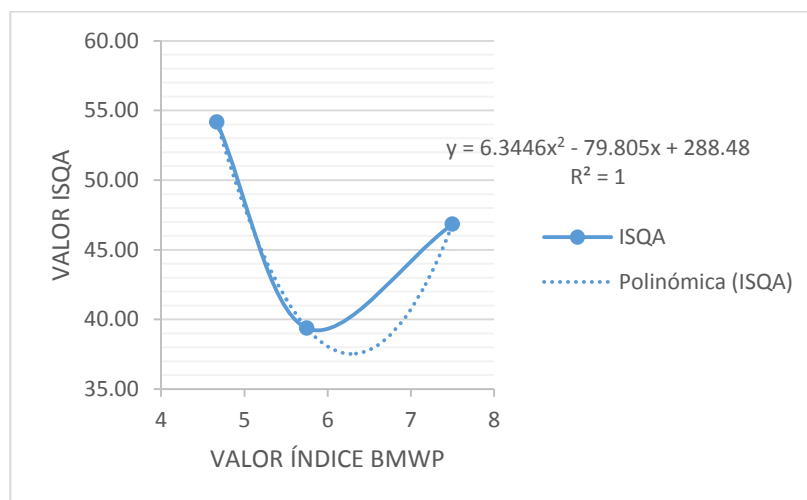
descarta que exista relación lineal entre ellos), fue necesario establecer qué tipo de correlación se ajustaba mejor a los resultados obtenidos. De esta manera, se encontró que la tendencia de la relación entre dichos índices se acopla perfectamente a una ecuación polinómica de segundo grado, con un coeficiente de correlación R^2 igual a 1, lo que indica una relación polinómica exacta.

Tabla XXII. **Correlación entre BMWP e ISQA época seca**

| Época seca | | |
|-------------|---------------|---------------|
| Ubicación | BMWP promedio | ISQA promedio |
| Parte baja | 4,67 | 54,17 |
| Parte media | 5,75 | 39,38 |
| Parte alta | 7,5 | 46,83 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Gráfica de correlación polinómica entre BMWP e ISQA para época seca**



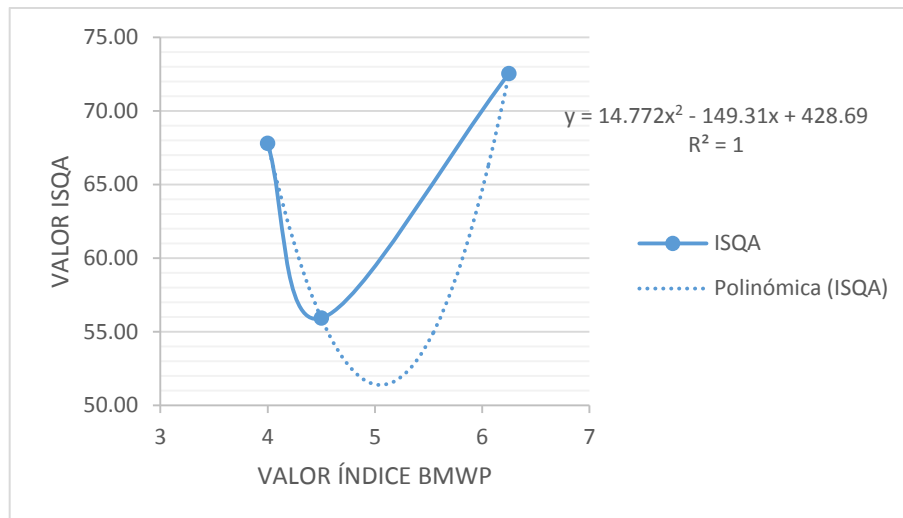
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Correlación entre BMWP e ISQA época lluviosa**

| Época Lluviosa | | |
|----------------|---------------|---------------|
| Ubicación | BMWP promedio | ISQA promedio |
| Parte baja | 6,25 | 72,54 |
| Parte media | 4,5 | 55,93 |
| Parte alta | 4 | 67,80 |

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Gráfica de correlación polinómica entre BMWP e índice ISQA para época lluviosa**



Fuente: elaboración propia.

4.7. Tablas resumen de las variables evaluadas para cada índice utilizado

En las tablas XXIV y XXV se explica el resumen de las variables evaluadas para cada índice utilizado.

Tabla XXIV. **Resumen de las variables evaluadas para época seca**

| ÉPOCA SECA | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|---|
| Ubicación | \overline{BMWP} | \overline{ISQA} | \overline{SST} (mg/l) | $\overline{Temp.}$ (°C) | \overline{DQO} (mg/l) | \overline{OD} (mg/l) | $\overline{Cond.}$ (µS/cm) | Conjunto de familias de macroinvertebrados |
| Parte alta: San Rafael I | 7,5 | 46,83 | 15,86 | 21,42 | 47,4 | 4,48 | 814,8 | <i>Chironomidae</i> , <i>Chironomidae</i> (pupa), <i>Culicidae</i> (pupa), <i>Physidae</i> , <i>Mesovelidae</i> , <i>Syrphidae</i> . |
| Parte media: Ciudad Vieja 2 | 5,75 | 39,38 | 16,66 | 21,84 | 68,6 | 2,98 | 746 | <i>Chironomidae</i> , <i>Chironomidae</i> (pupa), <i>Physidae</i> , <i>Syrphidae</i> , <i>Dytiscidae</i> . |
| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | 4,67 | 54,17 | 23,06 | 22,16 | 28 | 4,7 | 579 | <i>Haemopidae</i> , <i>Chironomidae</i> , <i>Chironomidae</i> (pupa), <i>Physidae</i> . |
| Promedio microcuenca | 5,97 | 46,79 | 18,53 | 21,81 | 48,00 | 4,05 | 713,27 | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Resumen de las variables evaluadas para época lluviosa**

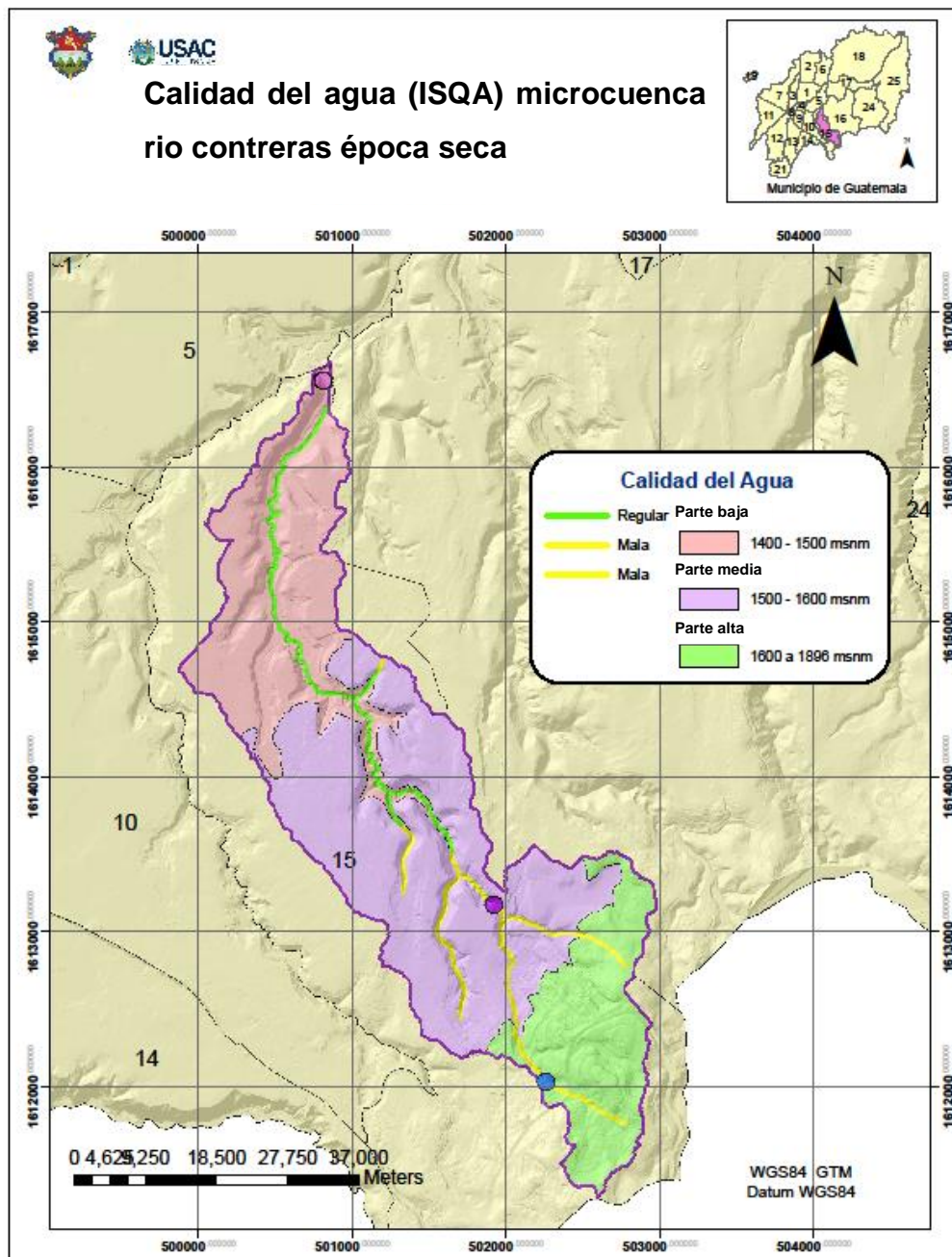
| ÉPOCA LLUVIOSA | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------------------|--|
| Ubicación | \overline{BMWP} | \overline{ISQA} | \overline{SST} (mg/l) | $\overline{Temp.}$ (°C) | \overline{DQO} (mg/l) | \overline{OD} (mg/l) | $\overline{Cond.}$ ($\mu S/cm$) | Conjunto de familias de macroinvertebrados |
| Parte alta: San Rafael I | 4 | 67,80 | 10,34 | 18 | 15,6 | 5,6 | 475,6 | <i>Chironomidae</i> , <i>Chironomidae</i> (pupa), <i>Physidae</i> , <i>Haemopidae</i> . |
| Parte media: Ciudad Vieja 2 | 4,5 | 55,93 | 18,44 | 20,12 | 48,6 | 6,04 | 457,6 | <i>Chironomidae</i> , <i>Tipulidae</i> , <i>Chironomidae</i> (pupa), <i>Physidae</i> , <i>Oligochaeta</i> . |
| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | 6,25 | 72,54 | 15,6 | 20,44 | 14,2 | 6,66 | 346,4 | <i>Chironomidae</i> , <i>Chironomidae</i> (pupa), <i>Physidae</i> , <i>Dolichopodidae</i> , <i>Ceratopogonidae</i> |
| Promedio microcuenca | 4,92 | 65,42 | 14,79 | 19,52 | 26,13 | 6,10 | 426,53 | |

Fuente: elaboración propia.

4.8. Mapas

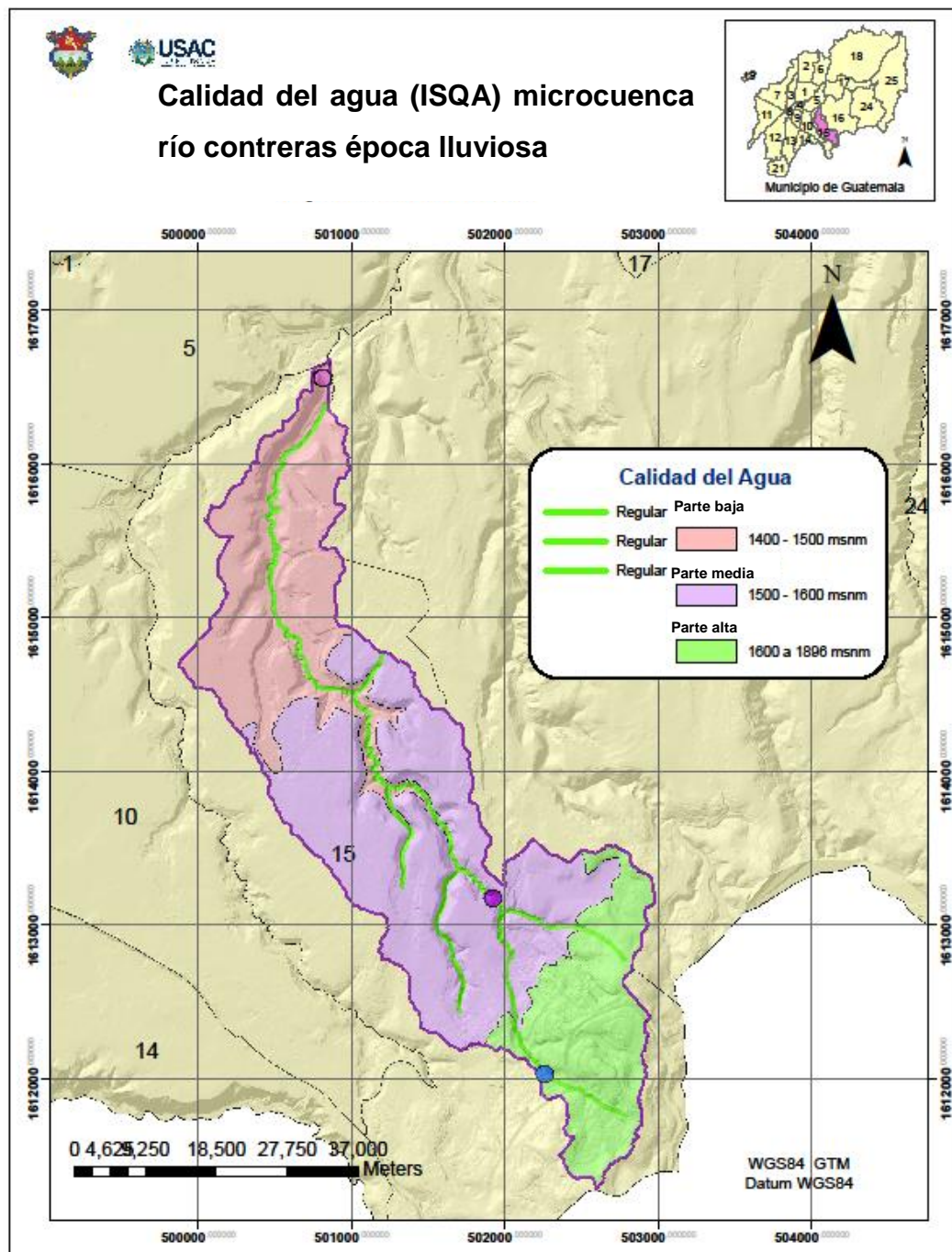
En la figuras 18, 19, 20 y 21 se muestran la calidad del agua.

Figura 18. ISQA para época seca



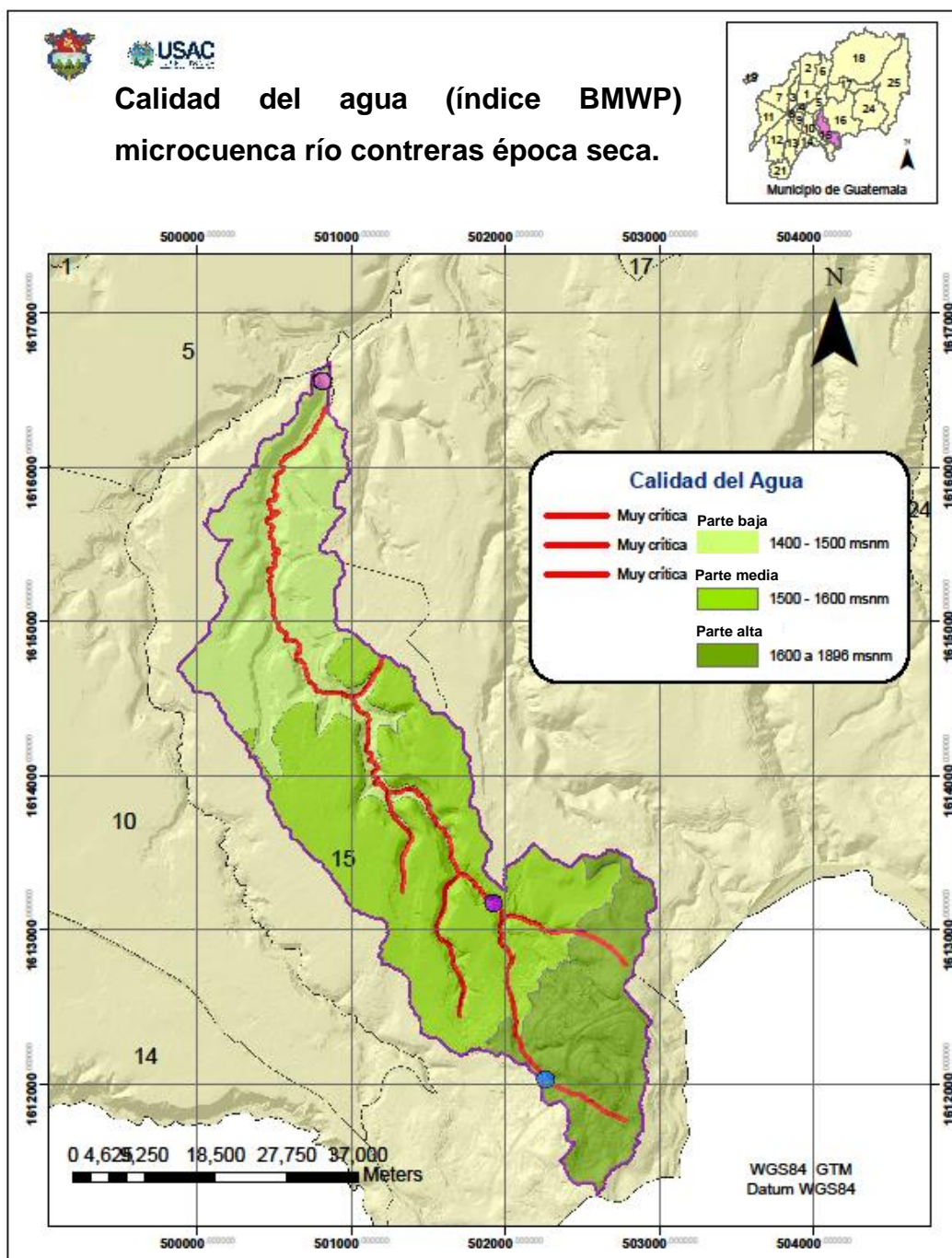
Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Photoshop.

Figura 19. ISQA para época lluviosa



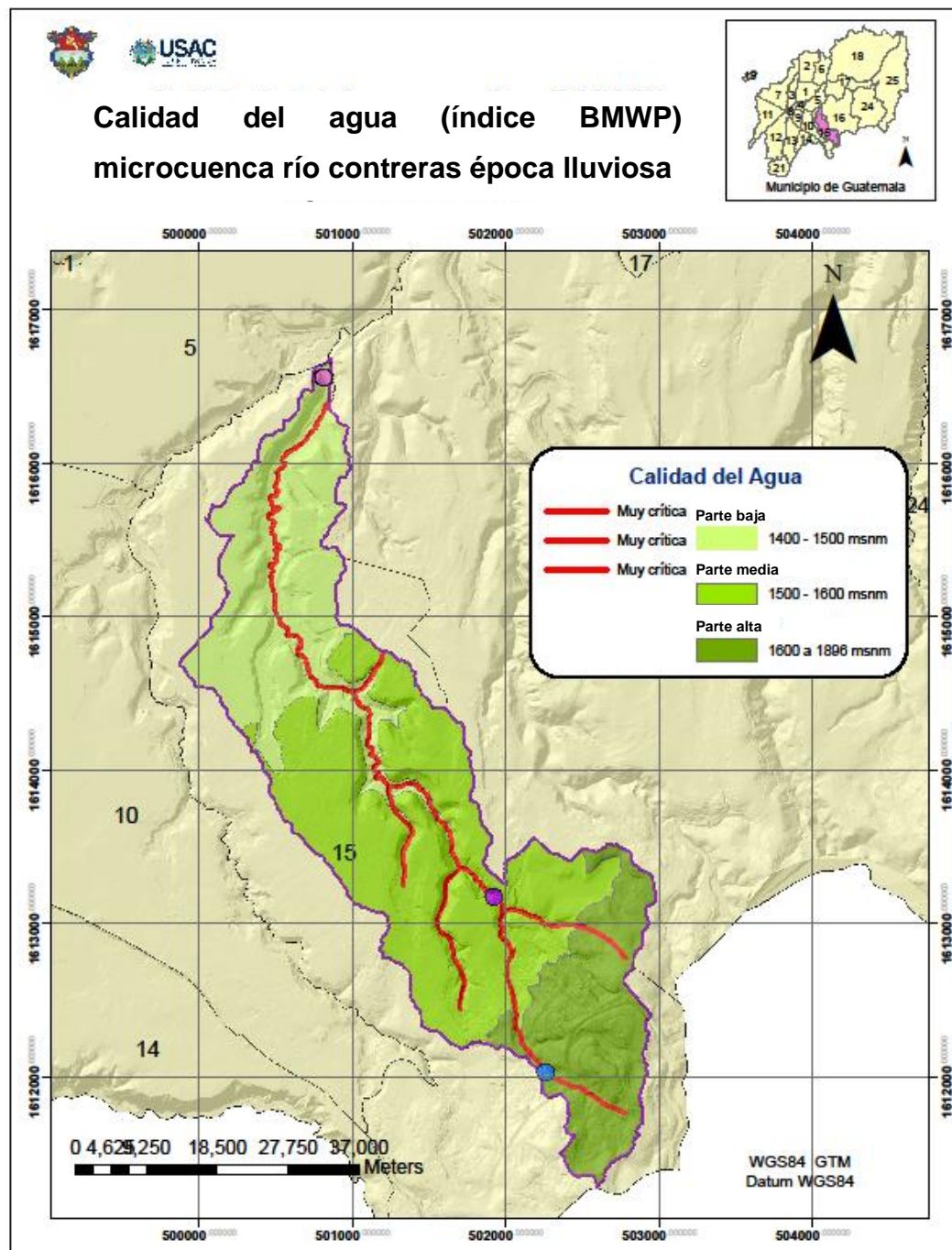
Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Photoshop.

Figura 20. Índice BMWP para época seca



Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Photoshop.

Figura 21. Índice BMWP para época lluviosa



Fuente: elaboración propia, con programa Adobe Photoshop.

5. INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A través de una serie de muestreos llevados a cabo tanto en época seca como en época lluviosa, en cada uno de los puntos de muestreo, identificados como “red de muestreo”, se obtuvieron especímenes de macroinvertebrados utilizados para la determinación del índice biótico BMWP y, mediante el análisis de cinco parámetros fisicoquímicos del agua, se determinó también el índice simplificado de calidad del agua (ISQA).

La primera parte de los resultados consistió en el cálculo de los parámetros que conforman el ISQA. En el presente estudio, este se basó en la utilización de 5 parámetros que son fácilmente accesibles y económicos para medir. Incluso, algunos de los parámetros pueden ser medidos *in situ*, lo que reduce costos y tiempo. Además, medir parámetros en el lugar de estudio provee mayor certeza de que los valores son verdaderamente representativos de la calidad del cuerpo de agua.

Luego de los cálculos realizados, se determinó que el índice biótico BMWP se mantuvo en valores promedio muy bajos, tanto en época seca como en época lluviosa, dando como resultado una calidad del agua “muy crítica” (puntajes de índice BMWP entre 0 y 15), lo que evidencia una fuerte contaminación y carga residual, por lo que no hubo variación representativa de las familias de macroinvertebrados encontradas en cada punto muestreado.

Por otro lado, sí hubo variación en el puntaje del ISQA, es decir, en época lluviosa se mantuvo en una calidad “regular” (valor promedio del puntaje del índice ISQA entre 51 y 75) a lo largo de toda la red de muestreo. Mientras que,

durante la época seca, solo la parte baja de la microcuenca, el Parque Ecológico Cayalá, obtuvo una puntuación promedio de 54,17, con una calidad regular. Tanto la parte media como la parte alta de la microcuenca obtuvieron valores promedio del ISQA inferiores (valores del puntaje del ISQA entre 26 y 50), por lo que la calidad del agua se clasificó como “mala”.

Al realizar comparaciones entre las líneas de tendencia de los valores promedio del índice ISQA durante época seca y época lluviosa, se observó que mantiene una tendencia polinómica, donde se nota claramente que el punto medio de la red de muestreo, la colonia Ciudad Vieja II, es el punto con la puntuación más baja del índice ISQA, independientemente de la época muestreada. Mientras que el punto bajo, el Parque Ecológico Cayalá obtuvo las puntuaciones más altas de índice ISQA durante ambas épocas de muestreo (ISQA con valor 54,17 durante época seca y 72,54 durante época lluviosa).

Al realizar un análisis análogo al anterior, pero tomando en cuenta los valores promedio del índice biótico BMWP durante época seca y época lluviosa, se observó un comportamiento muy distinto a la tendencia del ISQA. La tendencia del índice biótico BMWP durante época seca muestra un comportamiento lineal con pendiente negativa. Esto indica que la parte alta de la microcuenca, colonia San Rafael I, obtuvo el puntaje promedio más alto (puntuación BMWP 7,5), mientras que la parte baja, el Parque Ecológico Cayalá, obtuvo el puntaje promedio más bajo (puntuación BMWP 4,67), aunque ambos puntos aún están en la clasificación más baja de calidad del agua para el índice biótico BMWP (puntuación BMWP entre 0 y 15) de significancia “aguas fuertemente contaminadas”.

Durante época lluviosa, el comportamiento de la línea de tendencia de los valores promedio del índice biótico BMWP fue opuesto al observado durante

época seca, es decir, se observó un comportamiento lineal con pendiente positiva. Por lo tanto, la parte alta de la microcuenca, colonia San Rafael I, obtuvo el puntaje promedio más bajo (puntuación BMWP 4), mientras que la parte baja de la microcuenca, el Parque Ecológico Cayalá, presentó la puntuación promedio más alta (puntuación BMWP 6,25). Aun así, no hubo variación con los resultados obtenidos durante época seca, ya que los valores aún son muy bajos, se encuentran en el rango más bajo de calidad del agua para dicho índice y se siguen interpretando como “aguas fuertemente contaminadas” y en estado muy crítico.

Al analizar individualmente el comportamiento de cada parámetro fisicoquímico utilizado para el cálculo del índice simplificado de calidad del agua (ISQA), es posible determinar cuál de los mismos tuvo un efecto más directo o notorio en los resultados del valor promedio del índice.

Para los valores promedio de temperatura para cada punto en época seca se observó que los valores no variaron significativamente (valor promedio para la microcuenca de 21,81 °C), por lo que no presentaron mayor influencia sobre los valores del índice ISQA. Por otro lado, durante época lluviosa las temperaturas descendieron, aunque no fue de forma drástica (valor promedio para la microcuenca de 19,52 °C). En general, las variaciones de temperatura promedio durante ambas épocas muestreadas no fueron significativas ni incidieron directamente sobre el valor del ISQA. La línea de tendencia del comportamiento de los valores de temperatura fue bastante similar para ambas épocas muestreadas, con un valor máximo en el punto más bajo de la microcuenca, el Parque Ecológico Cayalá, y un valor mínimo en el punto más alto de la microcuenca, colonia San Rafael I.

Las mediciones de sólidos en suspensión totales, SST, variaron significativamente durante época seca y época lluviosa. Durante la época seca, el comportamiento de las mediciones promedio de SST mostró una tendencia lineal con pendiente positiva, es decir, en el punto más alto de la microcuenca, Colonia San Rafael I, se obtuvo la medición promedio mínima de SST (15,86 mg/l), mientras que el punto más bajo de la microcuenca, el Parque Ecológico Cayalá, mostró la medición promedio máxima de SST (23,06 mg/l).

Por otro lado, durante la época lluviosa, el comportamiento de las mediciones promedio de SST fue muy distinto al descrito anteriormente. La medición promedio máxima se obtuvo en la parte media de la microcuenca, colonia Ciudad Vieja II, con un valor promedio de 18,44 mg/l, mientras que la parte baja, el Parque Ecológico Cayalá obtuvo una medición promedio de 15,6 mg/l y el valor mínimo se obtuvo en la parte alta de la microcuenca, colonia San Rafael I, con un valor promedio de 10,34 mg/l, por lo que la línea de tendencia se asemeja más a una función polinómica y no a una lineal como se presentó durante época seca. Por otra parte, se puede observar que, a pesar de que la lluvia normalmente provoca un aumento en la carga de sedimentos en un cuerpo de agua, en este caso se observó una reducción de SST, ya que las mediciones durante época seca son mayores a las mediciones realizadas durante época lluviosa.

El comportamiento de las mediciones de uno de los parámetros utilizados para conocer la calidad del agua, DQO, varió significativamente entre época seca y época lluviosa. La medición promedio en época seca para la microcuenca del río Contreras fue de 48 mg/l, mientras que en época lluviosa la medida promedio de DQO fue de 26,13 mg/l, por lo que se puede decir que la calidad del agua mejoró significativamente en cuanto a la cantidad de contaminantes y componentes orgánicos e inorgánicos en el agua.

En cuanto al comportamiento de las mediciones realizadas en cada muestreo, se observó la misma tendencia, tanto en época seca como en época lluviosa, de forma polinómica, en la cual el punto con los valores máximos de mediciones de DQO se dieron en la parte media de la microcuenca, la colonia Ciudad Vieja 2, con una medición promedio para época seca de 68,6 mg/l, mientras que en época lluviosa la medición promedio para el mismo punto fue de 48,6 mg/l. La parte baja de la microcuenca, el Parque Ecológico Cayalá, mostró las mediciones mínimas en ambas épocas del año, tomando un valor promedio de DQO en época seca de 28 mg/l y de 14,2 mg/l durante época lluviosa.

Tomando en cuenta las mediciones de DQO se ve una relación directa con el resultado del ISQA, es decir, en la parte media de la microcuenca, colonia Ciudad Vieja 2, las mediciones promedio de DQO fueron los valores máximos de los muestreos realizados, tanto en época seca como en época lluviosa, por lo que se ve también que para ese mismo punto se obtuvieron los valores más bajos de calidad del agua según el ISQA, con un valor de 39,38 para época seca y un valor de 55,93 para época lluviosa. El valor de las puntuaciones del ISQA se ve mayormente afectado por las mediciones de DQO que de algunos de los otros parámetros fisicoquímicos evaluados.

Las mediciones de oxígeno disuelto variaron significativamente de época seca a época lluviosa. Las mediciones de OD durante época seca fueron en promedio para la microcuenca del río Contreras de 4,05 mg/l mientras que para época lluviosa la medición promedio fue de 6,10 mg/l. Durante época seca se obtuvo un valor mínimo de OD en la parte media de la microcuenca, colonia Ciudad Vieja 2, con una medición de 2,98 mg/l, mientras que el valor máximo se obtuvo en la parte baja, con un valor de 4,70 mg/l. Por otro lado, en época lluviosa el valor mínimo se obtuvo en la parte alta de la microcuenca, colonia

San Rafael I, con una medición de 5,6 mg/l y el valor máximo se obtuvo en la parte baja nuevamente, con un valor de 6,66 mg/l.

El comportamiento de las mediciones de OD en época seca muestra una tendencia polinómica, mientras que en época lluviosa fue lineal con pendiente positiva, aunque para ambas épocas se vio que el punto con los valores máximos de mediciones de OD fue la parte baja, el Parque Ecológico Cayalá, lo que podría explicar el porqué de las ocasiones en las que se encontraron especímenes de peces en dicho punto, ya que el OD es vital para la biota en cualquier cuerpo de agua.

En cuanto a las mediciones de conductividad, se vio un comportamiento muy similar en ambas épocas del año, aunque los valores de conductividad durante época seca fueron significativamente mayores que los valores obtenidos en los muestreos durante época lluviosa. Durante época seca, se registró una medición máxima promedio de 814,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la parte alta de la microcuenca, colonia San Rafael I, mientras que el valor mínimo de conductividad se dio en la parte baja, Parque Ecológico Cayalá, con una medición de conductividad promedio de 579 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo cual, se observó una tendencia lineal con pendiente negativa. Durante época lluviosa nuevamente se observó la medición máxima promedio de conductividad en la parte alta de la microcuenca, colonia San Rafael I, con un valor de 475,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, al igual que el valor mínimo promedio fue de 346,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, registrado nuevamente en la parte baja de la microcuenca, Parque Ecológico Cayalá, por lo tanto, permanece la tendencia lineal con pendiente negativa.

Al analizar la biodiversidad de la microcuenca, basándose en las familias obtenidas en los muestreos de macroinvertebrados, tanto en época seca como

en época lluviosa, es posible determinar cuáles fueron las familias de macroinvertebrados que obtuvieron los menores y mayores punteos de BMWP.

Durante la época seca, se observó que, en promedio, los tres puntos muestreados coincidieron en la presencia de tres familias de macroinvertebrados: *Chironomidae* (larva y pupa) y *Physidae*, con puntuaciones BMWP de 2, 2 y 3, respectivamente, son indicadores de mala calidad del agua ya que son muy tolerantes a la presencia de contaminantes. Por otro lado, también se registró la presencia de dos familias de puntuación BMWP mayor, como es el caso de la familia *Dytiscidae*, encontrada en la parte media de la microcuenca, colonia Ciudad Vieja 2, y la familia *Mesovelidae* en la parte alta de la microcuenca, colonia San Rafael I, ambas familias con una puntuación BMWP igual a 5, lo que los clasifica como de tolerancia regular, por lo que no fueron de significancia relevante en los resultados del índice BMWP.

Por otro lado, durante época lluviosa se observó nuevamente la presencia de las tres familias que se mantuvieron constantes en época seca: *Chironomidae* (larva y pupa) y *Physidae*. También se registró la presencia de familias con mejores y peores puntuaciones BMWP que las mencionadas anteriormente, por ejemplo, en la parte media, colonia Ciudad Vieja 2, se registró la presencia de la familia *Oligochaeta*, la cual posee la puntuación BMWP más baja registrada, con un valor igual a 1, aunque también en ese mismo punto se encontró la presencia de la familia *Tipulidae*, con un puntaje BMWP igual a 5. Mientras que en la parte baja, el Parque Ecológico Cayalá, se registró la presencia de familias como *Dolichopodidae* con un puntaje BMWP igual a 4 y *Ceratopogonidae*, con un puntaje BMWP de 5, ambos catalogados como de tolerancia regular a la contaminación. En la parte alta, colonia San Rafael I, la biodiversidad no presentó variaciones significativas y la familia con mayor puntaje BMWP registrada fue *Haemopidae*, con un valor igual a 3.

Es posible deducir que la calidad del agua va mejorando a medida que el agua fluye desde la parte alta hasta la parte baja de la microcuenca del río Contreras, esto puede deberse probablemente al intercambio de oxígeno debido a la turbulencia, por lo que también se puede deducir que el río sí presenta un proceso de autodepuración y reducción de contaminantes, aunque no provee las condiciones necesarias para presentar una mayor diversidad biológica o una mejora en el tipo de biota existente.

CONCLUSIONES

1. Utilizando cinco parámetros fisicoquímicos: temperatura, sólidos en suspensión totales, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno (DQO) y conductividad fue posible determinar el valor del índice simplificado de calidad del agua (ISQA) para cada muestreo realizado. De esta forma, los valores del ISQA para época seca registraron una mala calidad del agua en la parte alta y media de la microcuenca; mientras la parte baja, el Parque Ecológico Cayalá, obtuvo un valor del ISQA que lo convierte en el único punto de la microcuenca con una calidad regular del agua.
2. Durante época lluviosa los tres puntos muestreados alcanzaron valores del ISQA que los clasifican como de calidad regular.
3. Utilizando los puntajes respectivos para las familias de macroinvertebrados presentes en los puntos muestreados de la microcuenca del río Contreras fue posible determinar el índice biótico BMWP. En general, la calidad del agua se mantuvo durante ambas épocas del año en el rango “muy crítico”, es decir, aguas fuertemente contaminadas y con presencia de aguas residuales crudas.
4. Se determinó que el tipo de correlación entre el índice simplificado de calidad del agua ISQA y el índice biótico BMWP no fue lineal, sino que su correlación es de tipo polinómico de segundo grado.

5. Se elaboraron mapas de zonificación de la calidad del agua de la microcuenca del río Contreras, utilizando un código de colores internacionalmente aceptado para ambos índices y que permite la fácil visualización del estado de la calidad del agua según ambos índices y a través del tiempo (época seca y época lluviosa).

RECOMENDACIONES

1. Considerar, en un futuro estudio, el uso del índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) y el índice de contaminación por mineralización (ICOMI), con el objeto de determinar qué tipo de contaminantes pueden estar afectando en mayor forma a un cuerpo de agua determinado.
2. Debido a que muchos cuerpos de agua son afectados por aguas residuales crudas, mayormente de tipo doméstico, también debería considerarse la evaluación de las cantidades de sustancias tensoactivas, así como aceites y grasas presentes en dichas descargas.
3. Antes de realizar este tipo de estudio, utilizando metodologías como el índice biótico BMWP, es necesario investigar, especialmente las normas Coguanor, para llevar a cabo una investigación con las adaptaciones o consideraciones establecidas específicamente para el país.
4. Incentivar o fomentar el uso de índices bióticos para la evaluación rápida de la calidad del agua en los cuerpos de agua del país.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACUÑA CAMPOS, Esteban Stuardo. *Determinación de la calidad del agua en la subcuenca del río Quiscab departamento de Sololá, mediante dos índices bióticos*. Trabajo de graduación de Ing. Ambiental. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 113 p.
2. CARRERA REYES, Carlos; FIERRO PERALBO, Karol. *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua*. Ecuador: EcoCiencia, 2001. 67 p. ISBN 9978-41-964-0.
3. COMISIÓN GUATEMALTECA DE NORMAS. Coguanor NTG/ISO 8989-1. *Calidad del agua. Clasificación biológica de los ríos. Parte 1: guía para la interpretación de los datos relativos a la calidad biológica a partir de estudios de macroinvertebrados bénticos*. Guatemala: Coguanor, 2010. 12 p.
4. _____. Coguanor 8989-2. *Calidad del agua. Clasificación biológica de los ríos. Parte 2: Guía para la presentación de los datos relativos a la calidad biológica a partir de estudios de macroinvertebrados bénticos*. Guatemala: Coguanor, 2010. 13 p.

5. CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO. Comisaría de aguas.
Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la cuenca del Ebro. Zaragoza: confederación hidrográfica del Ebro 2011. 66 p.
6. DEVORE, Jay L. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.* México: International Thomson Editores, 1998. 720 p. ISBN 968-7529-48-2.
7. GUTIERREZ-FONSECA, Pablo E. *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del orden Coleoptera en El Salvador.* El Salvador: Editorial Universitaria (UES), 2010. 64 p. ISBN 978-99923-27-51-7.
8. _____. *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Plecoptera en El Salvador.* El Salvador: Editorial Universitaria (UES), 2010. 14 p. ISBN 978-99923-27-57-9.
9. MENJIVAR ROSA, Rafael Antonio. *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del orden Diptera en El Salvador.*, El Salvador: Editorial Universitaria (UES), 2010. 51 p. ISBN 978-99923-27-53-1.
10. MUNICIPALIDAD DE GUATEMALA. Dirección de Planificación Urbana.
Guía de aplicación Plan de Ordenamiento Territorial. Guatemala: Municipalidad de Guatemala, 2009. 58 p.




11. PACHECO-CHAVES, Bernald. *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del orden Hemiptera en El Salvador*. El Salvador: Editorial Universitaria (UES), 2010. 50 p. ISBN 978-99923-27-52-4.
12. SERMEÑO CHICAS, José Miguel. *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Odonata en El Salvador*. El Salvador: Editorial Universitaria (UES), 2010. 38 p. ISBN 978-99923-27-49-4.
13. SERMEÑO CHICAS, José Miguel; SERRANO CERVANTES, Leopoldo; SPRINGER, Monika. *Determinación de la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando invertebrados acuáticos: índice biológico a nivel de familias de invertebrados acuáticos en El Salvador*. El Salvador: Editorial Universitaria (UES), 2010. 44 p. ISBN 978-99923-27-60-9.
14. SERRANO CERVANTES, Leopoldo. *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del orden Ephemeroptera en El Salvador*. El Salvador: Editorial Universitaria (UES), 2010. 29 p. ISBN 978-99923-27-55-5.
15. _____. *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Lepidoptera en El Salvador*. El Salvador: Editorial Universitaria (UES), 2010. 16 p. ISBN 978-99923-27-58-6.

16. SPRINGER, Monika. *Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos inmaduros del orden Trichoptera en El Salvador*. El Salvador: Editorial Universitaria (UES), 2010. 47 p. ISBN 978-99923-27-48-7.

APÉNDICES










Apéndice 1. Tablas de datos originales de la época seca, para índice biótico BMWP

A. Clasificación de macroinvertebrados encontrados durante el primer muestreo en época seca

| Primer muestreo 25/04/2014 | | | | | |
|--------------------------------|------------------|----------------------------|--|------|----------|
| Ubicación | Orden | Familia | Imagen | BMWP | Calidad |
| Parte baja: Parque Cayalá | <i>Hirudinea</i> | <i>Haemopidae</i> |  | 3 | Mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Mollusca</i> | <i>Physidae</i> |  | 3 | Mala |
| Parte media: Ciudad Vieja 2 | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| Parte alta: San Rafael I | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Culicidae</i> (pupa) |  | 2 | Muy mala |








Fuente: elaboración propia.

B. Clasificación de macroinvertebrados encontrados durante el segundo muestreo en época seca

| Segundo muestreo 30/04/2014 | | | | | |
|--------------------------------|--------------------|-------------------------------|---|------|----------|
| Ubicación | Orden | Familia | Imagen | BMWP | Calidad |
| Parte baja: Parque Cayalá | <i>Perciformes</i> | <i>Cichlidae</i> | N/A | N/A | N/A |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Mollusca</i> | <i>Physidae</i> |  | 3 | Mala |
| Parte media: Ciudad Vieja 2 | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| Parte alta: San Rafael I | <i>Mollusca</i> | <i>Physidae</i> |  | 3 | Mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Syrphidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| Parte baja: Parque Cayalá | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> (pupa) |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Culicidae</i> (pupa) |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Mollusca</i> | <i>Physidae</i> |  | 3 | Mala |









Fuente: elaboración propia.

C. Clasificación de macroinvertebrados encontrados durante el tercer muestreo en época seca

| Tercer muestreo 02/05/2014 | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|-------------------------------|--|------|----------|
| Ubicación | Orden | Familia | Imagen | BMWP | Calidad |
| Parte baja: Parque Cayalá | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| Parte media: Ciudad Vieja 2 | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Mollusca</i> | <i>Physidae</i> |  | 3 | Mala |
| | <i>Coleoptera</i> | <i>Dytiscidae</i> |  | 5 | Regular |
| Parte alta: San Rafael I | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> (pupa) |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Culicidae</i> (pupa) |  | 2 | Muy mala |







Fuente: elaboración propia.

D. Clasificación de macroinvertebrados encontrados durante el cuarto muestreo en época seca

| Cuarto muestreo 07/05/2014 | | | | | |
|--------------------------------|------------------|-------------------------------|---|------|----------|
| Ubicación | Orden | Familia | Imagen | BMWP | Calidad |
| Parte baja: Parque Cayalá | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> (pupa) |  | 2 | Muy mala |
| Parte media: Ciudad Vieja 2 | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> (pupa) |  | 2 | Muy mala |
| Parte alta: San Rafael I | <i>Hemiptera</i> | <i>Mesovelidae</i> |  | 5 | Regular |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> (pupa) |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Syrphidae</i> |  | 2 | Muy mala |

Fuente: elaboración propia.





E. Clasificación de macroinvertebrados encontrados durante el quinto muestreo en época seca

| Quinto muestreo 08/05/2014 | | | | | |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------------|--|------|----------|
| Ubicación | Orden | Familia | Imagen | BMWP | Calidad |
| Parte baja: Parque Cayalá | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Mollusca</i> | <i>Physidae</i> |  | 3 | Mala |
| Parte media: Ciudad Vieja 2 | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> (pupa) |  | 2 | Muy mala |
| Parte alta: San Rafael I | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> (pupa) |  | 2 | Muy mala |

Fuente: elaboración propia.





Apéndice 2. **Tablas de datos originales época lluviosa para índice biótico BMWP**

A. Clasificación de macroinvertebrados encontrados durante el primer muestreo en época lluviosa

| Primer muestreo 29/08/2014 | | | | | |
|--------------------------------|--------------------|----------------------|---|------|----------|
| Ubicación | Orden | Familia | Imagen | BMWP | Calidad |
| Parte baja: Parque Cayalá | <i>Perciformes</i> | <i>Cichlidae</i> | N/A | N/A | N/A |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| Parte media: Ciudad Vieja 2 | <i>Hirudinea</i> | <i>Erpobdellidae</i> |  | 3 | Mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| Parte alta: San Rafael I | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |



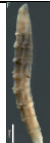







Fuente: elaboración propia.

B. Clasificación de macroinvertebrados encontrados durante el segundo muestreo en época lluviosa

| Segundo muestreo 04/09/2014 | | | | | |
|--------------------------------|----------------|---------------------|--|------|----------|
| Ubicación | Orden | Familia | Imagen | BMWP | Calidad |
| Parte baja: Parque Cayalá | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| Parte media: Ciudad Vieja 2 | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Tipulidae</i> |  | 5 | Regular |
| Parte alta: San Rafael I | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |







Fuente: elaboración propia.

C. Clasificación de macroinvertebrados encontrados durante el tercer muestreo en época lluviosa

| Tercer muestreo 18/09/2014 | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------------------|---|------|----------|
| Ubicación | Orden | Familia | Imagen | BMWP | Calidad |
| Parte baja: Parque Cayalá | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> (pupa) |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Dolichopodidae</i> |  | 4 | Mala |
| | <i>Mollusca</i> | <i>Physidae</i> |  | 3 | Mala |
| Parte media: Ciudad Vieja 2 | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> (pupa) |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Oligochaeta</i> | <i>Oligochaeta</i> |  | 1 | Muy mala |
| Parte baja: San Rafael I | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> (pupa) |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Mollusca</i> | <i>Physidae</i> |  | 3 | Mala |






Fuente: elaboración propia.

D. Clasificación de macroinvertebrados encontrados durante el cuarto muestreo en época lluviosa

| Cuarto muestreo 25/09/2014 | | | | | |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|--|------|----------|
| Ubicación | Orden | Familia | Imagen | BMWP | Calidad |
| Parte baja: Parque Cayalá | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Diptera</i> | <i>Ceratopogonidae</i> |  | 5 | Regular |
| | <i>Mollusca</i> | <i>Physidae</i> |  | 3 | Mala |
| Parte media: Ciudad Vieja 2 | <i>Oligochaeta</i> | <i>Oligochaeta</i> |  | 1 | Muy mala |
| Parte baja: San Rafael I | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Mollusca</i> | <i>Physidae</i> |  | 3 | Mala |

Fuente: elaboración propia.

E. Clasificación de macroinvertebrados encontrados durante el quinto muestreo en época lluviosa

| Quinto muestreo 02/10/2014 | | | | | |
|--------------------------------|------------------|---------------------|---|------|----------|
| Ubicación | Orden | Familia | Imagen | BMWP | Calidad |
| Parte baja: Parque Cayalá | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Mollusca</i> | <i>Physidae</i> |  | 3 | Mala |
| Parte media: Ciudad Vieja 2 | <i>Diptera</i> | <i>Chironomidae</i> |  | 2 | Muy mala |
| | <i>Mollusca</i> | <i>Physidae</i> |  | 3 | Mala |
| Parte baja: San Rafael I | <i>Hirudinea</i> | <i>Haemopidae</i> |  | 3 | Mala |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Tablas de datos calculados de sólidos en suspensión totales en época seca

A. Cálculo de sólidos en suspensión para primer muestreo en época seca

| Muestreo 1 | Punto | Final | Inicial (g) | Volumen (l) | SST (mg/l) |
|---------------|----------|--------|-------------|-------------|------------|
| | P. baja | 0,0789 | 0,0786 | 0,01 | 30 |
| | P. media | 0,0775 | 0,0772 | 0,01 | 30 |
| | P. alta | 0,0791 | 0,079 | 0,01 | 10 |

Fuente: elaboración propia.

B. Cálculo de sólidos en suspensión para segundo muestreo en época seca

| Muestreo 2 | Punto | Final | Inicial (g) | Volumen (l) | SST (mg/l) |
|---------------|----------|--------|-------------|-------------|------------|
| | P. baja | 0,0839 | 0,0834 | 0,015 | 33,3 |
| | P. media | 0,077 | 0,0767 | 0,015 | 20,0 |
| | P. alta | 0,0786 | 0,0784 | 0,015 | 13,3 |

Fuente: elaboración propia.

C. Cálculo de sólidos en suspensión para tercer muestreo en época seca

| Muestreo 3 | Punto | Final | Inicial (g) | Volumen (l) | SST (mg/l) |
|---------------|----------|--------|-------------|-------------|------------|
| | P. baja | 0,0827 | 0,0821 | 0,03 | 20,0 |
| | P. media | 0,0808 | 0,0804 | 0,03 | 13,3 |
| | P. alta | 0,0776 | 0,077 | 0,03 | 20,0 |

Fuente: elaboración propia.

D. Cálculo de sólidos en suspensión para cuarto muestreo en época seca

| Muestreo 4 | Punto | Final | Inicial (g) | Volumen (l) | SST (mg/l) |
|---------------|----------|--------|-------------|-------------|------------|
| | P. baja | 0,0799 | 0,0795 | 0,025 | 16,0 |
| | P. media | 0,079 | 0,0789 | 0,025 | 4,0 |
| | P. alta | 0,0791 | 0,0785 | 0,025 | 24,0 |

Fuente: elaboración propia.

E. Cálculo de sólidos en suspensión para quinto muestreo en época seca

| Muestreo 5 | Punto | Final | Inicial (g) | Volumen (l) | SST (mg/l) |
|---------------|----------|--------|-------------|-------------|------------|
| | P. baja | 0,078 | 0,0776 | 0,025 | 16,0 |
| | P. media | 0,0809 | 0,0805 | 0,025 | 16,0 |
| | P. alta | 0,0776 | 0,0773 | 0,025 | 12,0 |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Tablas de datos calculados de sólidos en suspensión totales en época lluviosa

A. Cálculo de sólidos en suspensión para primer muestreo en época lluviosa

| Muestreo 1 | Punto | Final | Inicial (g) | Volumen (l) | SST (mg/l) |
|---------------|----------|---------|-------------|-------------|------------|
| | P. baja | 0,0888 | 0,0883 | 0,02 | 25 |
| | P. media | 0,0888 | 0,0887 | 0,02 | 5 |
| | P. alta | 0,08888 | 0,08884 | 0,01 | 4 |

Fuente: elaboración propia.

B. Cálculo de sólidos en suspensión para segundo muestreo en época lluviosa

| Muestreo 2 | Punto | Final | Inicial (g) | Volumen (l) | SST (mg/l) |
|---------------|----------|--------|-------------|-------------|------------|
| | P. baja | 0,0835 | 0,0832 | 0,1 | 3,0 |
| | P. media | 0,0814 | 0,0805 | 0,1 | 9,0 |
| | P. alta | 0,0796 | 0,0793 | 0,1 | 3,0 |

Fuente: elaboración propia.

C. Cálculo de sólidos en suspensión para tercer muestreo en época lluviosa

| Muestreo 3 | Punto | Final | Inicial (g) | Volumen (l) | SST (mg/l) |
|---------------|----------|--------|-------------|-------------|------------|
| | P. baja | 0,0901 | 0,09 | 0,1 | 1,0 |
| | P. media | 0,0897 | 0,0892 | 0,1 | 5,0 |
| | P. alta | 0,0896 | 0,0894 | 0,1 | 2,0 |

Fuente: elaboración propia.

D. Cálculo de sólidos en suspensión para cuarto muestreo en época lluviosa

| Muestreo 4 | Punto | Final | Inicial (g) | Volumen (l) | SST (mg/l) |
|---------------|----------|--------|-------------|-------------|------------|
| | P. baja | 0,0926 | 0,0888 | 0,3 | 12,7 |
| | P. media | 0,0948 | 0,0884 | 0,263 | 24,3 |
| | P. alta | 0,0938 | 0,0893 | 0,3 | 15,0 |

Fuente: elaboración propia.

E. Cálculo de sólidos en suspensión para quinto muestreo en época lluviosa

| Muestreo 5 | Punto | Final | Inicial (g) | Volumen (l) | SST (mg/l) |
|---------------|----------|--------|-------------|-------------|------------|
| | P. baja | 0,0999 | 0,089 | 0,3 | 36,3 |
| | P. media | 0,1003 | 0,0894 | 0,223 | 48,9 |
| | P. alta | 0,0979 | 0,0896 | 0,3 | 27,7 |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Tablas de datos calculados para ISQA en época seca

A. Cálculo de ISQA para parte baja, primer muestreo en época seca

| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | | | |
|-------------------------------------|----------|-------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 22,2 | T | 0,973 |
| DQO (mg/l) | 33 | A | 9,45 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 30 | B | 20,5 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 3,45 | C | 8,625 |
| Conductividad (uS/cm) | 655 | D | 10,380 |
| ISQA | | | = 47,609 |
| Interpretación | | Mala | |

Fuente: elaboración propia.

B. Cálculo de ISQA para parte media, primer muestreo en época seca

| Parte media: Ciudad Vieja 2 | | | |
|--------------------------------|----------|-------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 22 | T | 0,975 |
| DQO (mg/l) | 61 | A | 0 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 30 | B | 20,5 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 1,78 | C | 4,45 |
| Conductividad (uS/cm) | 843 | D | 8,929 |
| ISQA | | | = 33,032 |
| Interpretación | | Mala | |

Fuente: elaboración propia.

C. Cálculo de ISQA para parte alta, primer muestreo en época seca

| Parte alta: Col. San Rafael 1 | | | |
|--------------------------------|----------|-------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 20,7 | T | 0,991 |
| DQO (mg/l) | 57 | A | 1,05 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 10 | B | 23,5 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 1,19 | C | 2,975 |
| Conductividad (uS/cm) | 842 | D | 8,936 |
| ISQA | | | = 36,142 |
| Interpretación | | Mala | |

Fuente: elaboración propia.

D. Cálculo de ISQA para parte baja, segundo muestreo en época seca

| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | | | |
|-------------------------------------|----------|-----------|--------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | Det. ISQA | |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 20,6 | T | 0,9925 |
| DQO (mg/l) | 34 | A | 9,1 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 33,3 | B | 20,005 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 5,88 | C | 14,7 |
| Conductividad (uS/cm) | 649 | D | 10,433 |
| ISQA | | = | 53,831 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

E. Cálculo de ISQA para parte media, segundo muestreo en época seca

| Parte media: Ciudad Vieja 2 | | | |
|--------------------------------|----------|-----------|--------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | Det. ISQA | |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 21,2 | T | 0,985 |
| DQO (mg/l) | 67 | A | 0 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 20 | B | 22 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 2,98 | C | 7,45 |
| Conductividad (uS/cm) | 810 | D | 9,158 |
| ISQA | | = | 38,029 |
| Interpretación | | Mala | |

Fuente: elaboración propia.

F. Cálculo de ISQA para parte alta, segundo muestreo en época seca

| Parte alta: Col. San Rafael 1 | | | |
|--------------------------------|----------|-------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 21,5 | T | 0,98125 |
| DQO (mg/l) | 64 | A | 0 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 13,3 | B | 23,005 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 5,74 | C | 14,35 |
| Conductividad (uS/cm) | 886 | D | 8,643 |
| ISQA | | | = 45,135 |
| Interpretación | | Mala | |

Fuente: elaboración propia.

G. Cálculo de ISQA para parte baja, tercer muestreo en época seca

| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | | | |
|-------------------------------------|----------|---------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 21,8 | T | 0,9775 |
| DQO (mg/l) | 16 | A | 15,4 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 20 | B | 22 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 6,1 | C | 15,25 |
| Conductividad (uS/cm) | 421 | D | 12,922 |
| ISQA | | | = 64,097 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

H. Cálculo de ISQA para parte media, tercer muestreo en época seca

| Parte media: Ciudad Vieja 2 | | | |
|--------------------------------|----------|-----------|---------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | Det. ISQA | |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 22,9 | T | 0,96375 |
| DQO (mg/l) | 88 | A | 0 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 13,3 | B | 23,005 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 5,57 | C | 13,925 |
| Conductividad (uS/cm) | 611 | D | 10,780 |
| ISQA | | = | 45,981 |
| Interpretación | | Mala | |

Fuente: elaboración propia.

I. Cálculo de ISQA para parte alta, tercer muestreo en época seca

| Parte alta: Col. San Rafael 1 | | | |
|--------------------------------|----------|-----------|--------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | Det. ISQA | |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 20,6 | T | 0,9925 |
| DQO (mg/l) | 29 | A | 10,85 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 20 | B | 22 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 5,95 | C | 14,875 |
| Conductividad (uS/cm) | 648 | D | 10,442 |
| ISQA | | = | 57,731 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

J. Cálculo de ISQA para parte baja, cuarto muestreo en época seca

| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | | | |
|-------------------------------------|----------|-------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 23,7 | T | 0,95375 |
| DQO (mg/l) | 40 | A | 7 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 16 | B | 22,6 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 3,75 | C | 9,375 |
| Conductividad (uS/cm) | 588 | D | 11,001 |
| ISQA | | | = 47,664 |
| Interpretación | | Mala | |

Fuente: elaboración propia.

K. Cálculo de ISQA para parte media, cuarto muestreo en época seca

| Parte media: Ciudad Vieja 2 | | | |
|--------------------------------|----------|-------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 21,8 | T | 0,9775 |
| DQO (mg/l) | 77 | A | 0 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 4 | B | 24,4 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 2,56 | C | 6,4 |
| Conductividad (uS/cm) | 731 | D | 9,749 |
| ISQA | | | = 39,636 |
| Interpretación | | Mala | |

Fuente: elaboración propia.

L. Cálculo de ISQA para parte alta, cuarto muestreo en época seca

| Parte alta: Col. San Rafael 1 | | | |
|--------------------------------|----------|-----------|---------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | Det. ISQA | |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 22,3 | T | 0,97125 |
| DQO (mg/l) | 53 | A | 2,45 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 24 | B | 21,4 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 4,88 | C | 12,2 |
| Conductividad (uS/cm) | 736 | D | 9,709 |
| ISQA | | = | 44,444 |
| Interpretación | | Mala | |

Fuente: elaboración propia.

M. Cálculo de ISQA para parte baja, quinto muestreo en época seca

| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | | | |
|-------------------------------------|----------|-----------|---------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | Det. ISQA | |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 22,5 | T | 0,96875 |
| DQO (mg/l) | 17 | A | 15,05 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 16 | B | 22,6 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 4,31 | C | 10,775 |
| Conductividad (uS/cm) | 582 | D | 11,060 |
| ISQA | | = | 57,626 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

N. Cálculo de ISQA para parte media, quinto muestreo en época seca

| Parte media: Ciudad Vieja 2 | | | |
|--------------------------------|----------|-------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 21,3 | T | 0,98375 |
| DQO (mg/l) | 50 | A | 3,5 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 16 | B | 22,6 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 2,02 | C | 5,05 |
| Conductividad (uS/cm) | 735 | D | 9,717 |
| ISQA | | | = 40,203 |
| Interpretación | | Mala | |

Fuente: elaboración propia.

O. Cálculo de ISQA para parte alta, quinto muestreo en época seca

| Parte alta: Col. San Rafael 1 | | | |
|--------------------------------|----------|-------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 22 | T | 0,975 |
| DQO (mg/l) | 34 | A | 9,1 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 12 | B | 23,2 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 4,62 | C | 11,55 |
| Conductividad (uS/cm) | 962 | D | 8,169 |
| ISQA | | | = 50,719 |
| Interpretación | | Mala | |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Tablas de datos calculados para índice ISQA en época lluviosa**

A. Cálculo de ISQA para parte baja, primer muestreo en época lluviosa

| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | | | |
|-------------------------------------|----------|---------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 25 | T | 1,000 |
| DQO (mg/l) | 18 | A | 14,7 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 25 | B | 21,25 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 6,88 | C | 17,2 |
| Conductividad (uS/cm) | 282 | D | 15,227 |
| ISQA | | | = 68.377 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

B. Cálculo de ISQA para parte media, primer muestreo en época lluviosa

| Parte media: Ciudad Vieja 2 | | | |
|--------------------------------|----------|---------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 24 | T | 1 |
| DQO (mg/l) | 72 | A | 0 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 5 | B | 24,25 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 6,44 | C | 16,1 |
| Conductividad (uS/cm) | 503 | D | 11,899 |
| ISQA | | | = 52,249 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

C. Cálculo de ISQA para parte alta, primer muestreo en época lluviosa

| Parte alta: Col. San Rafael 1 | | | |
|--------------------------------|----------|---------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 14,7 | T | 1,066 |
| DQO (mg/l) | 14 | A | 16,1 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 4 | B | 24,4 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 4,15 | C | 10,375 |
| Conductividad (uS/cm) | 488 | D | 12,073 |
| ISQA | | | = 67,118 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

D. Cálculo de ISQA para parte baja, segundo muestreo en época lluviosa

| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | | | |
|-------------------------------------|----------|-------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 13,9 | T | 1,07625 |
| DQO (mg/l) | 14 | A | 16,1 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 3 | B | 24,55 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 6,68 | C | 16,7 |
| Conductividad (uS/cm) | 301 | D | 14,852 |
| ISQA | | | = 77,708 |
| Interpretación | | Buena | |

Fuente: elaboración propia.

E. Cálculo de ISQA para parte media, segundo muestreo en época lluviosa

| Parte media: Ciudad Vieja 2 | | | |
|--------------------------------|----------|-----------|---------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | Det. ISQA | |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 14,3 | T | 1,07125 |
| DQO (mg/l) | 56 | A | 1,4 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 9 | B | 23,65 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 5,05 | C | 12,625 |
| Conductividad (uS/cm) | 442 | D | 12,642 |
| ISQA | | = | 53,903 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

F. Cálculo de ISQA para parte alta, segundo muestreo en época lluviosa

| Parte alta: Col. San Rafael 1 | | | |
|--------------------------------|----------|-----------|---------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | Det. ISQA | |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 13,5 | T | 1,08125 |
| DQO (mg/l) | 16 | A | 15,4 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 3 | B | 24,55 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 4,8 | C | 12 |
| Conductividad (uS/cm) | 510 | D | 11,819 |
| ISQA | | = | 68,951 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

G. Cálculo de ISQA para parte baja, tercer muestreo en época lluviosa

| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | | | |
|-------------------------------------|----------|---------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 17,8 | T | 1,0275 |
| DQO (mg/l) | 10 | A | 20 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 1 | B | 24,85 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 5,66 | C | 14,15 |
| Conductividad (uS/cm) | 454 | D | 12,488 |
| ISQA | | | = 73,454 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

H. Cálculo de ISQA para parte media, tercer muestreo en época lluviosa

| Parte media: Ciudad Vieja 2 | | | |
|--------------------------------|----------|---------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 16,9 | T | 1,03875 |
| DQO (mg/l) | 40 | A | 7 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 5 | B | 24,25 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 5,81 | C | 14,525 |
| Conductividad (uS/cm) | 535 | D | 11,544 |
| ISQA | | | = 59,540 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

I. Cálculo de ISQA para parte alta, tercer muestreo en época lluviosa

| Parte alta: Col. San Rafael 1 | | | |
|--------------------------------|----------|-----------|---------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | Det. ISQA | |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 15,9 | T | 1,05125 |
| DQO (mg/l) | 18 | A | 14,7 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 2 | B | 24,7 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 5,45 | C | 13,625 |
| Conductividad (uS/cm) | 532 | D | 11,576 |
| ISQA | | = | 67,912 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

J. Cálculo de Índice ISQA para parte baja, cuarto muestreo en época lluviosa

| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | | | |
|-------------------------------------|----------|-----------|--------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | Det. ISQA | |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 25,8 | T | 1 |
| DQO (mg/l) | 6 | A | 24 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 12,7 | B | 23,095 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 4,32 | C | 10,8 |
| Conductividad (uS/cm) | 323 | D | 14,447 |
| ISQA | | = | 72,342 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

K. Cálculo de ISQA para parte media, cuarto muestreo en época lluviosa

| Parte media: Ciudad Vieja 2 | | | |
|--------------------------------|----------|---------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 26,1 | T | 1 |
| DQO (mg/l) | 32 | A | 9,8 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 24,3 | B | 21,355 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 3,44 | C | 8,6 |
| Conductividad (uS/cm) | 376 | D | 13,573 |
| ISQA | | | = 53,328 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

L. Cálculo de Índice ISQA para parte alta, cuarto muestreo en época lluviosa

| Parte alta: Col. San Rafael 1 | | | |
|--------------------------------|----------|---------|-----------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | | Det. ISQA |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 26 | T | 1 |
| DQO (mg/l) | 16 | A | 15.4 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 15 | B | 22,75 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 3,78 | C | 9,45 |
| Conductividad (uS/cm) | 387 | D | 13,407 |
| ISQA | | | = 61,007 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

M. Cálculo de ISQA para parte baja, quinto muestreo en época lluviosa

| Parte baja: Parque Ecológico Cayalá | | | |
|-------------------------------------|----------|-----------|---------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | Det. ISQA | |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 19,7 | T | 1,00375 |
| DQO (mg/l) | 23 | A | 12,95 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 36,3 | B | 19,555 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 9,76 | C | 24,4 |
| Conductividad (uS/cm) | 372 | D | 13,634 |
| ISQA | | = | 70,804 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

N. Cálculo de ISQA para parte media, quinto muestreo en época lluviosa

| Parte media: Ciudad Vieja 2 | | | |
|--------------------------------|----------|-----------|---------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | Det. ISQA | |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 19,3 | T | 1,00875 |
| DQO (mg/l) | 43 | A | 5,95 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 48,9 | B | 17,665 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 9,48 | C | 23,7 |
| Conductividad (uS/cm) | 432 | D | 12,774 |
| ISQA | | = | 60,615 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

O. Cálculo de ISQA para parte alta, quinto muestreo en época lluviosa

| Parte alta: Col. San Rafael 1 | | | |
|--------------------------------|----------|-----------|---------|
| DATOS OBTENIDOS DE ANÁLISIS FQ | | Det. ISQA | |
| Parámetro | Medición | Valor | |
| Temperatura (°C) | 19,9 | T | 1.00125 |
| DQO (mg/l) | 14 | A | 16,1 |
| Sólidos en suspensión (mg/l) | 27,7 | B | 20,845 |
| Oxígeno disuelto (mg/l) | 9,83 | C | 24,575 |
| Conductividad (uS/cm) | 461 | D | 12,400 |
| ISQA | | = | 74,013 |
| Interpretación | | Regular | |

Fuente: elaboración propia.

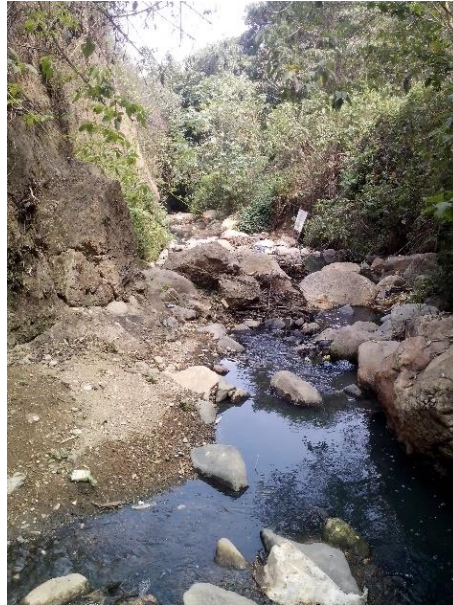
Apéndice 7. Red de muestreo de la microcuenca del río Contreras

Figura 1. Parte alta, colonia San Rafael I, durante época seca



Fuente: colonia San Rafael I, Guatemala.

Figura 2. **Parte media, colonia Ciudad Vieja 2, durante época seca**



Fuente: colonia Ciudad Vieja 2, Guatemala.

Figura 3. **Parte baja, Parque Ecológico Cayalá, durante época seca**



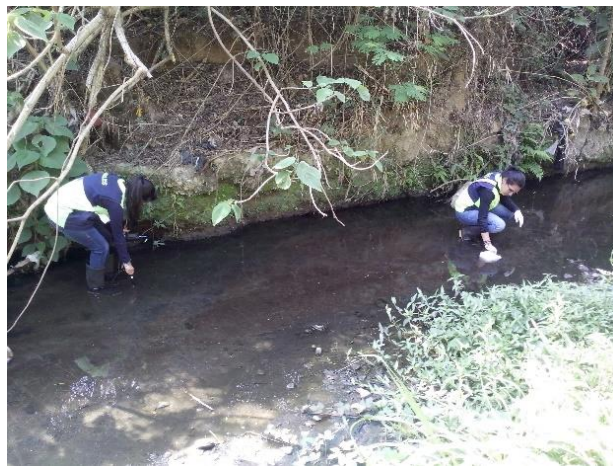
Fuente: Parque Ecológico Cayalá, Guatemala.

Figura 4. Muestreo durante época seca con red tipo D



Fuente: colonia Ciudad Vieja 2, Guatemala.

Figura 5. Toma de muestra de agua y medición de oxígeno disuelto durante época seca



Fuente: Parque Ecológico Cayalá, Guatemala.

Figura 6. **Parte alta, colonia San Rafael I, durante época lluviosa**



Fuente: colonia San Rafael I, Guatemala.

Figura 7. **Parte media, colonia Ciudad Vieja 2, durante época lluviosa**



Fuente: colonia Ciudad Vieja 2, Guatemala.

Figura 8. **Parte baja, Parque Ecológico Cayalá, durante época lluviosa**



Fuente: Parque Ecológico Cayalá, Guatemala.

Figura 9. **Medición de oxígeno disuelto durante época lluviosa**



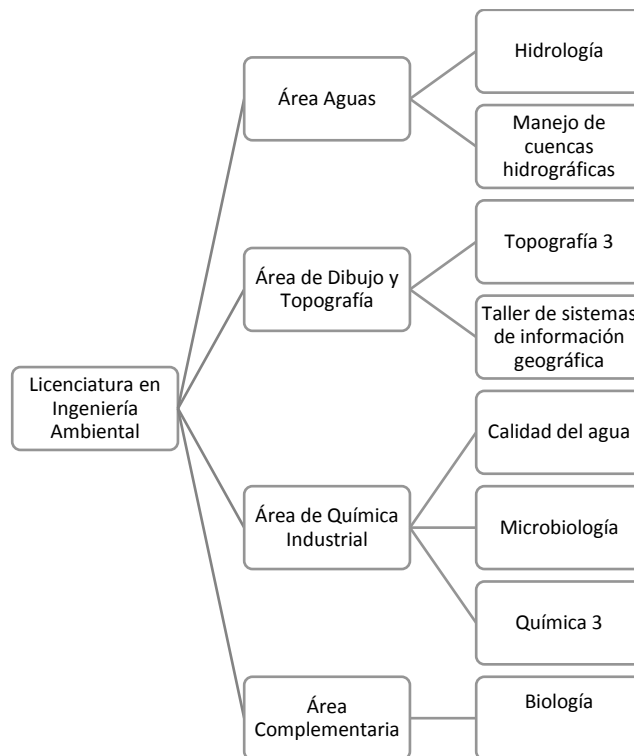
Fuente: Parque Ecológico Cayalá, Guatemala.

Figura 10. **Muestreo durante época lluviosa con red tipo D**



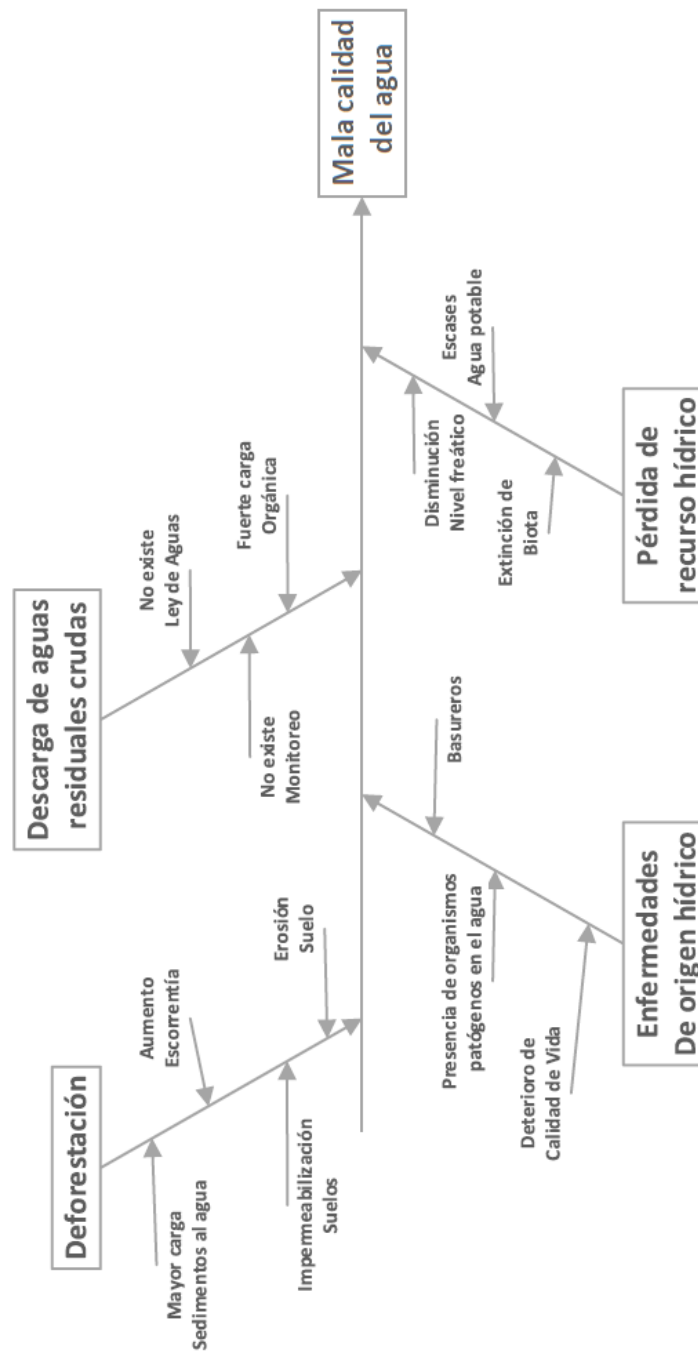
Fuente: colonia Ciudad Vieja 2, Guatemala.

Apéndice 8. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Visio.

